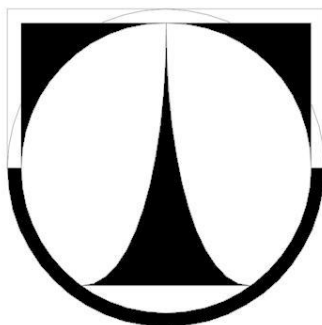


# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a  
mezioborových inženýrských studií



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových inženýrských studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 2612R011 - Elektronické informační a řídicí systémy

## **Přípravek pro automatickou kontrolu řídicí elektroniky měřidel tepla**

## **The tool for automatic verification of control electronic unit of heat meters**

**Bakalářská práce**

Autor:

**Richard Schreiber**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lubomír Slavík

V Liberci 20. května 2011

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Ústav řízení systémů a spolehlivosti

## Zadání bakalářské práce

<b>Příjmení a jméno studenta, (osobní číslo - nepovinné)</b>	<b>Schreiber Richard</b> <b>M07000052</b>
<b>Datum zadání práce</b>	1.10. 2010
<b>Plánované datum odevzdání</b>	květen 2011
<b>Rozsah grafických prací</b>	Dle potřeby dokumentace
<b>Rozsah průvodní zprávy</b>	cca 30 stran
<b>Název práce (česky)</b>	Přípravek pro automatickou kontrolu řídicí elektroniky měřidel tepla
<b>Název práce (anglicky)</b>	The tool for automatic verification of control electronic unit of heat meters
<b>Zásady pro vypracování BP:</b>	
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Prostudujte dokumentaci řídicí elektroniky měřidel tepla firmy EESA</li><li>2. Navrhněte metodiku automatického ověření a nastavení parametrů řídicí elektroniky s ohledem na co nejkratší dobu</li><li>3. Realizujte přípravek pro automatické ověření a nastavení parametrů řídicí elektroniky</li></ol>	
<b>Seznam odborné literatury:</b>	
<p>[1] Katalogové listy a technická dokumentace měřidel tepla firmy EESA (URL: &lt;<a href="http://www.eesa.cz">http://www.eesa.cz</a>&gt;)</p> <p>[2] Ďaďo, S., Kreidl, M.: Senzory a měřicí obvody. Vydavatelství ČVUT Praha 1999</p> <p>[3] Low Level Measurement Handbook, Keithley, sixth edition, 2004 (URL: &lt;<a href="http://www.keithley.com">http://www.keithley.com</a>&gt;)</p> <p>[4] Katalogové listy součástek firem Analog devices, Texas Instruments, Atmel</p>	
<b>Vedoucí BP/DP</b>	Ing. Lubomír Slavík
<b>Konzultant BP/DP</b>	

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tom případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce.

Datum: 20. května 2011

Podpis:

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce, panu Ing. Lubomíru Slavíkovi, za odborné vedení, cenné rady, připomínky a za poskytnutí informačního a technického zázemí.

## **Abstrakt**

Práce se zabývá oživovacím přípravkem řídicí elektroniky průtokoměrů a měřičů tepla založených na elektromagnetickém principu. V úvodních pasážích práce je popsán princip měření průtoku, teploty a vyhodnocení tepla včetně teoretického rozboru a úskalí metody, v praktické části je popsána elektronika oživovacího přípravku.

Oživovací přípravek slouží zároveň ke kalibraci elektroniky, takže měření i generování signálů musí být přesnější než je zaručovaná přesnost měřidla, což klade vysoké nároky na provedení elektroniky včetně dobrého stínění, potlačení parazitních přechodových odporů a kapacit. Musí být také splněna podmínka, že připojením přípravku k měřicímu přístroji nesmí dojít k jeho ovlivnění.

Navíc přípravek umožní automatickou kontrolu dvojitého měřiče tepla, což opět zvyšuje nároky na jeho provedení.

### **Klíčová slova:**

Průtokoměr, měřič tepla, elektronika.

## **Abstract**

The bachelor thesis deals with the tool for automatic verification of control electronic unit of flow and heat meters based on electromagnetic principle. The principle of flow and temperature measurement and evaluating of heat including theoretical analysis is described in the opening chapter. The control electronics of the tool serves also for calibration of electronics, so measurement and signal generation has to be more accurate then guaranteed accuracy of inspected device. This aspect place high emphasis on electronics design including good shielding, elimination of parasitic contact resistances and capacitances. What is more, connection of this tool to measurement device hasn't to have any influence to its function.

This tool is determined also for calibration of double heat meter system, which means higher emphasis to good design.

### **Key words:**

Flow meter, heat meter, electronics

# Obsah

Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Abstrakt.....	5
Obsah .....	7
Seznam obrázků .....	9
Úvod.....	10
1. Měření tepla.....	11
1.1 Měření teploty .....	12
1.2 Měření průtoku.....	12
1.3 Měřič tepla EESA typ MT200DS .....	15
2. Oživování měřičů tepla.....	19
2.1 Stávající postup .....	19
2.2 Metodika automatického oživení .....	19
3. Popis zapojení.....	21
3.1 Analogový modul.....	21
3.2 Rozbor přesnosti měření proudu a generování signálu .....	26
3.3 Rozbor přesnosti generování signálu .....	26
3.4 Základní deska .....	27
4. Realizace.....	31
4.1 Desky plošných spojů .....	31
4.2 Osazení a oživení .....	32
Závěr .....	33
Seznam použité literatury .....	34
Obsah přiloženého CD .....	36
Příloha A – Motivy desek s plošnými spoji .....	37
Příloha B – Osazovací plánky.....	41
Příloha C – Seznam součástek – základní deska .....	43



Příloha D – Seznam součástí – analogový modul .....	45
Příloha E – Fotografie .....	46

## Seznam obrázků

Obr. 1: Schéma měření spotřeby TUV .....	11
Obr. 2: Schéma měření spotřeby tepla topného okruhu.....	11
Obr. 3: Provedení indukčního snímače průtoku .....	13
Obr. 4: Blokové schéma měřiče tepla MT200DS .....	15
Obr. 5: Schéma budicího můstku MT200DS.....	16
Obr. 6: Příklad simulace můstku se zkratovaným Q1. ....	18
Obr. 7: Schéma výstupního H-můstku pro simulaci v programu PSPICE .....	18
Obr. 8: Blokové schéma oživovacího přípravku .....	21
Obr. 9: Blokové schéma analogového modulu .....	22
Obr. 10: Schéma zapojení vstupních obvodů analogového modulu.....	23
Obr. 11: Schéma zapojení ochranného obvodu .....	23
Obr. 12: Schéma zapojení simulátoru teplot analogového modulu .....	24
Obr. 13: Generování výstupního signálu - převodník.....	25
Obr. 14: Výstupní obvody simulace průtoku.....	25
Obr. 15: Schéma zapojení zdrojů referenčního napětí analogového modulu .....	25
Obr. 16: Schéma měniče +20V, -5V a reference .....	27
Obr. 17: Zapojení mikroprocesoru.....	29
Obr. 18: Zapojení klávesnice a displeje.....	30
Obr. 19: Multiplexované vstupy pro měření frekvencí.....	30
Obr. 20: Umístění blokovacích kondenzátorů .....	31
Obr. 21: Umístění cívky spínaného zdroje +20V .....	32

## Úvod

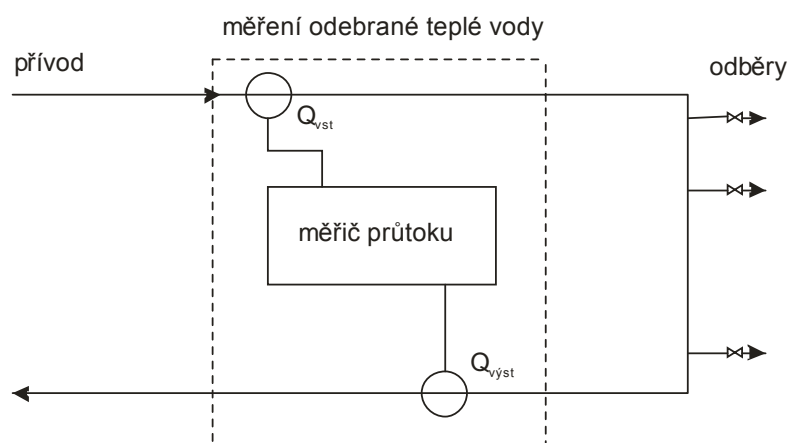
Různá průmyslová odvětví mají požadavky na měření průtoku. Z tohoto důvodu byla vyvinuta řada metod jeho měření. Jednou z aplikací kde se využívá měření průtoku a zároveň teplot je měření dodaného nebo spotřebovaného tepla. Měřiče tepla nacházejí využití jak v průmyslu, tak i v komerčních aplikacích, jako je měření spotřeby tepla topné a užitkové vody. Požadavky na přesnost měření jsou vysoké, protože se jedná o stanovené měřidlo, z naměřených hodnot je například účtovaná spotřeba teplé vody.

Mnoho výrobců vyrábí přístroje využívající nejrůznějších principů. Průtok lze měřit různými metodami, pomocí průtokoměrů objemových, lopatkových, ultrazvukových atd. S rozvojem elektroniky se začal používat i princip indukční, který je základem všech průtokoměrů i měřičů tepla firmy EESA. Následující práce si klade za cíl seznámení s měřičem tepla využívající indukční metodu měření průtoku, metodu jeho oživení a kalibrace. Dále bude popsán návrh metody automatického oživení, základní hrubé kalibrace a v poslední části návrh a realizace přípravku, který zajistí všechny požadované funkce pro oživení jednoduchých i dvojitých měřidel. Případná aplikace automatického přípravku by měla snížit pracnost i dobu oživení, čímž by došlo k zvýšení produktivity ve výrobě. Eventuelní používání přípravku by též vedlo ke snížení nároků na pracovníka provádějícího základní oživení bezvadného přípravku.

# 1. Měření tepla

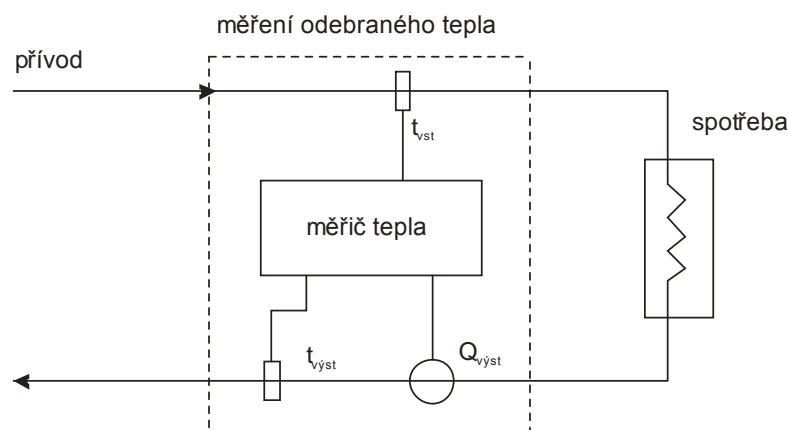
Měření tepla se zabývá určením množství tepla, které se spotřebuje v určitém spotřebiči nebo zařízení, které toto teplo odebere.

Jedna z aplikací je měření spotřebovaného množství teplé užitkové vody v systémech s cirkulací. Obrázek ukazuje obvyklé uspořádání. Pro tento systém je potřeba dvou průtokoměrů z důvodu odběru vody z cirkulační smyčky. Odběr kapaliny komplikuje měření a zvyšuje nárok na přesnost průtokoměrů z důvodu snížení chyby měření kvůli diferenciálnímu principu této metody.



Obr. 1: Schéma měření spotřeby TUV

Jednodušší je měření spotřebovaného tepla v topných okruzích, kde si vystačíme s jedním průtokoměrným čidlem. Ze schématu je vidět, že nedochází k žádnému odběru teplonosné kapaliny, a proto je v tomto případě měření i výpočet spotřeby tepla jednodušší. Někdy je potřeba měřit více odběrných míst, například ve výměňkových stanicích. Zde najde uplatnění dvojitý měřič tepla se dvěma čidly průtoku a čtyřmi čidly teplot.



Obr. 2: Schéma měření spotřeby tepla topného okruhu

Měření tepla dodaného teplotonosným médiem (v tomto případě to je teplá voda) vychází ze vztahů pro tepelný výkon

$$P_q = Q_m(i_1 - i_2), \quad (1)$$

kde  $P_q$  je tepelný výkon [W],  $Q_m$  je hmotnostní průtok teplotonosného média [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ] a  $i_{1,2}$  [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ] je tepelný obsah teplotonosného média na vstupu do resp. výstupu z tepelného spotřebiče.

Tepelný obsah lze spočítat jako součin měrné tepelné kapacity teplotonosného média  $c_p$  [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ] a teploty  $T$  [K]

$$i = c_p \cdot T. \quad (2)$$

Po úpravě dosadíme za průtok hmotnostní součin průtoku objemového a hustoty kapaliny, rozdíl teplot je rozdílem teploty mezi vstupem a výstupem.

$$P_q = Q_v \cdot \rho \cdot (c_p T_1 - c_p T_2) = Q_v \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_1 - T_2) = Q_v \cdot k \cdot \Delta t, \quad (3)$$

kde  $Q_v$  je objemový průtok [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ],  $\Delta t$  je rozdíl teplot na vstupu a výstupu [ $^{\circ}\text{C}$ ] a  $k$  [ $\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ ] je konstanta sdružující hustotu a tepelnou kapacitu média.

Celkové odebrané teplo  $Q_q$  [J] za čas získáme integrací tepelného výkonu  $P_q$  [W]

$$Q_q = \int_{t_0}^t P_q dt. \quad (4)$$

Pro určení tepla tedy potřebujeme znát průtok a rozdíl teplot [1].

## 1.1 Měření teploty

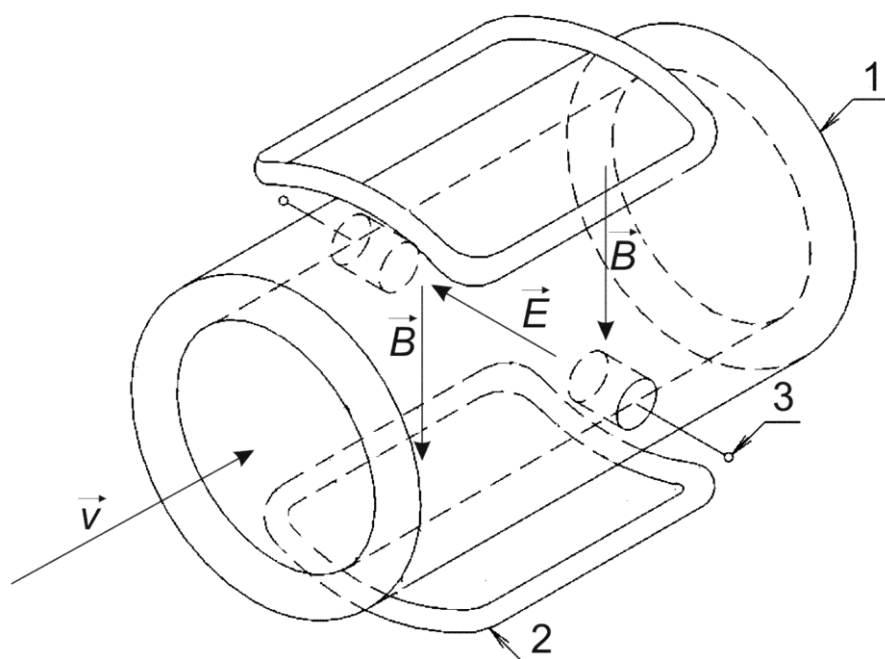
Pro výpočet hodnot spotřebovaného tepla je nutné znát teplotu média, v tomto případě vody. Teplotu lze měřit různými metodami, např. termočlánky nebo odporovými snímači či snímači polovodičovými. Při měření tepla není nutným požadavkem absolutní přesnost jednotlivých čidel, významnou hodnotou je teplotní rozdíl mezi dvěma čidly. Protože je nutná vysoká přesnost, používají se výhradně platinové odporové čidla teploty typu Pt100, Pt1000 nebo Pt500. V průmyslu nejrozšířenější je typ Pt100, měřiče tepla MT200DS ale standardně používají typ Pt500 kvůli vyšší citlivosti a menší náchylnosti na rušení. V konfiguraci měřiče je možné zvolit ale i použití ostatních typů.

## 1.2 Měření průtoku

Průtok kapaliny lze měřit pomocí různých metod, poměrně rozšířený způsob u malých měřičů tepla je vrtulkový průtokoměr, který má ale několik nevýhod jako

složitější mechanické provedení, klade odpor protékající kapalině a je náročný její čistotou. Setrvačnost může také ovlivnit měření. Přesto se ale u malých přístrojů používá pro svoji nízkou cenu.

Moderní metodou měření průtoku, jejíž rozvoj a rozšíření byl umožněn až s vývojem elektroniky je metoda indukční nebo také elektromagnetická. Jedná se o metodu měření bez použití jakýchkoliv mechanických pohyblivých částí. Vlastní čidlo je část trubky z vhodného materiálu (1), ve kterém jsou proti sobě umístěny dvě elektrody (3), které ale nezasahují do průtočného profilu. Kolmo na tyto elektrody jsou umístěny budící cívky (2). Schematický náčrt je na následujícím obrázku.



*Obr. 3: Provedení indukčního snímače průtoku*

Princip měření lze vysvětlit pomocí Faradayova indukčního zákona. Ten říká, že pohybuje-li se vodič v magnetickém poli, pak se kolmo k magnetickému poli naindukuje ve vodiči kolmém na toto pole elektrické napětí úměrné rychlosti pohybu tohoto vodiče. Vodič je v tomto případě ale tvořen kapalinou. Pro matematický popis je lepší vysvětlení pomocí Lorentzova zákona. Na částici náboje působí síla  $F$  [N], která závisí na elektrickém poli  $E$  [ $V \cdot m^{-1}$ ], rychlosti  $v$  [ $m \cdot s^{-1}$ ] a magnetické indukci  $B$  [T].

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (5)$$

Běžně se ale jako Lorentzova síla označuje jen příspěvek od magnetického pole:

$$\vec{F}_m = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (6)$$

Tato síla mění jen směr pohybu náboje, nikoliv jeho rychlost. Náboje v pohybující se kapalině jsou vychylovány a sbírány na elektrodách a vytváří se na nich napětí, rozdíl potenciálů  $U$  [V]. Velikost elektrického pole  $E$  [ $V \cdot m^{-1}$ ] je odpovídající velikosti tohoto napětí a vzdálenosti elektrod  $D$  [m].

$$|\vec{E}| = \frac{U}{D} \quad (7)$$

Na náboje působí ještě v opačném směru síla elektrická

$$\vec{F}_e = q\vec{E}, \quad (8)$$

V rovnovážném stavu jsou tyto síly (magnetická i elektrická) stejně velké.

Napětí potom odpovídá střední rychlosti pohybu kapaliny a ze známého průřezu pak lze získat objemový průtok.

Vztah pro napětí je

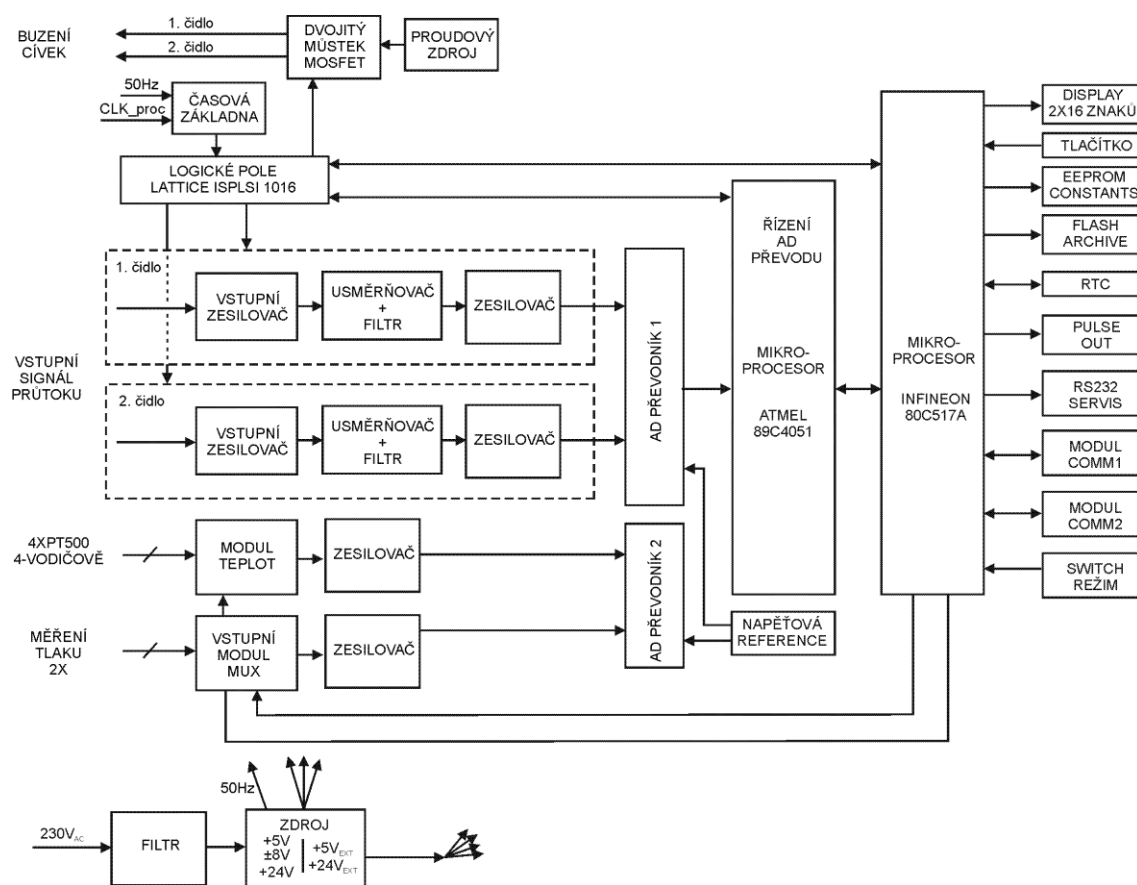
$$U = v \cdot B \cdot D, \quad (9)$$

kde  $v$  je rychlost kapaliny,  $B$  velikost magnetické indukce a  $D$  vzdálenost elektrod [2].

Napětí na elektrodách je ovšem velmi malé, v řádu milivoltů, proto musí mít vstupní obvody elektroniky velký vstupní odpor a jsou tak náchylné na rušení.

### 1.3 Měřič tepla EESA typ MT200DS

Na následujícím obrázku je blokové schéma dvojitého měřiče tepla EESA typ MT200DS



Obr. 4: Blokové schéma měřiče tepla MT200DS

V podstatě se jedná o dvojitý indukční průtokoměr vybavený navíc možností měření teploty a případně i tlaku.

#### Obvodové řešení

Signál z obou čidel průtoku je zesílen, usměrněn, filtrován a nakonec je digitalizován pomocí A/D převodníku. Další zpracování údajů je číslicové. Měření teplot pomocí odporových čidel využívá zdroje konstantního proudu, který je napájí. Úbytek napětí na těchto čidlech je zesílen a také převeden na digitální hodnotu.

Mikroprocesorová část řídí celý měřič a zpracovává všechny údaje. Historie naměřených hodnot je ukládána do paměti. Měřič tepla může být osazen různými komunikačními moduly, takže dle potřeby může být výstupní signál odpovídající

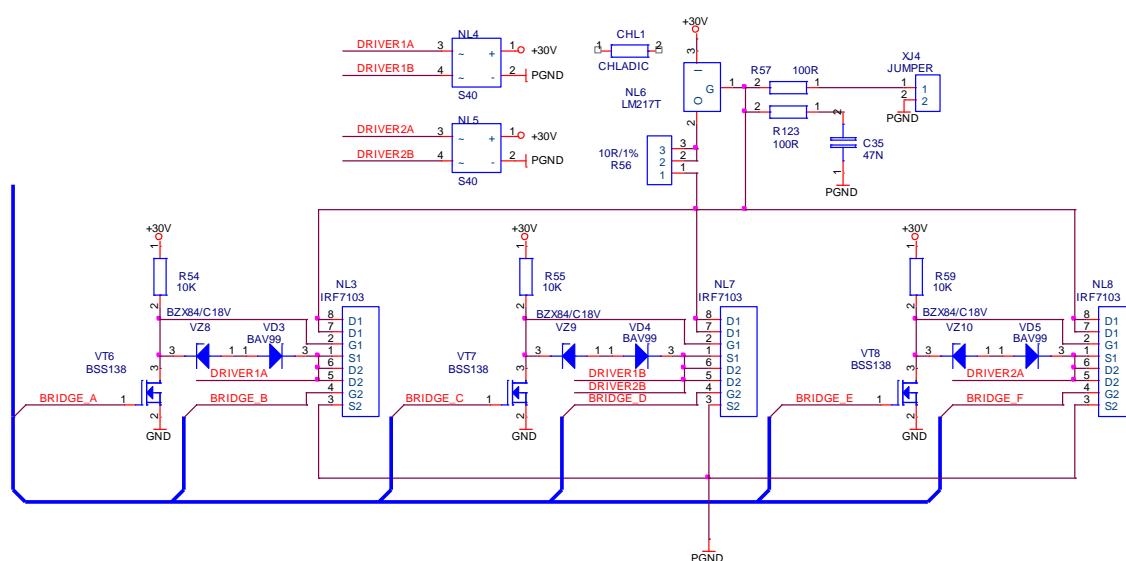


měřené veličině pulzní, napěťový nebo proudový. Pro konfiguraci zařízení je k dispozici sériový port standardu RS232, který slouží k připojení počítače s obslužným programem VIEW32 [2].

Řídicí signály pro buzení cívek jsou generovány mikroprocesorem ve spolupráci s hradlovým polem, které ovládá výkonové H-můstky. Protože se jedná o dvojité průtokoměry, jsou použity dva můstky, ale střední část je sdílená. Můstek se tedy skládá z 6 tranzistorů. Napájení můstku je zajištěno zdrojem konstantního proudu. Protože z dostupných informací o četnosti poruch je můstek nejvíce poruchovou částí, následující popis se pokusí přiblížit možné poruchy výstupních obvodů.

### H-Můstek pro buzení cívek

Vlastní můstek se skládá z 6 tranzistorů MOSFET, typ IRF7103. Můstek má prostřední větev sdílenou. Napájení je zdrojem konstantního proudu 125mA s obvodem LM217. Protože tranzistory jsou náchylné na poškození elektrostatickým polem nebo přehřátím při pájení, byla provedena analýza a simulace možných poruchových stavů, které mohou nastat.



Obr. 5: Schéma budicího můstku MT200DS

Pro zjednodušení budeme uvažovat pouze jednoduchý můstek. Ve schématu pro simulaci to jsou tranzistory Q1 až Q4, M1 a M2 slouží jen jako pomocné invertory. Viz Obr. 7. Spínání tranzistorů je vyřešeno pomocí zdrojů obdélníkového napětí, které jsou fázově posunuty. Pokud jsou všechny tranzistory v pořádku, odpovídá průběh výstupního proudu a napětí budicím signálům. Pokud však bude jeden nebo více

tranzistorů vadných, dojde k chybné funkci můstku. Tranzistor může mít nekonečný odpor, zkrat nebo nějaký pevný odpor, avšak nereagující na signál hradla. Pokud bude v horní polovině můstku tranzistor s nekonečně velkým odporem, nepoteče skrz něj žádný proud, a tedy nepoteče ani proud do zátěže. Pokud bude zkratovaný, může dojít k přímému zkratování můstku přes dva tranzistory nad sebou. Trvalý zkrat nebo rozpojení může nastat i v dolní části můstku. Nesepnutý tranzistor Q3 nebo Q4 lze identifikovat podle velikosti napětí na zátěži proti zemi, které se bude blížit maximálnímu napětí, které může dodat proudový zdroj, protože zátěží nepoteče proud. Detekce této chyby je v přípravku implementována pomocí určení absolutní hodnoty napětí výstupu můstku oproti zemi. Nesepnutí Q1, Q2 se zase projeví nulovým napětím i proudem do zátěže. Kombinací měření procházejícího proudu zátěží a výstupního napětí můstku lze tedy většinu chyb v tranzistorech celkem přesně lokalizovat. Následující tabulka shrnuje možné projevy poruchy tranzistorů.

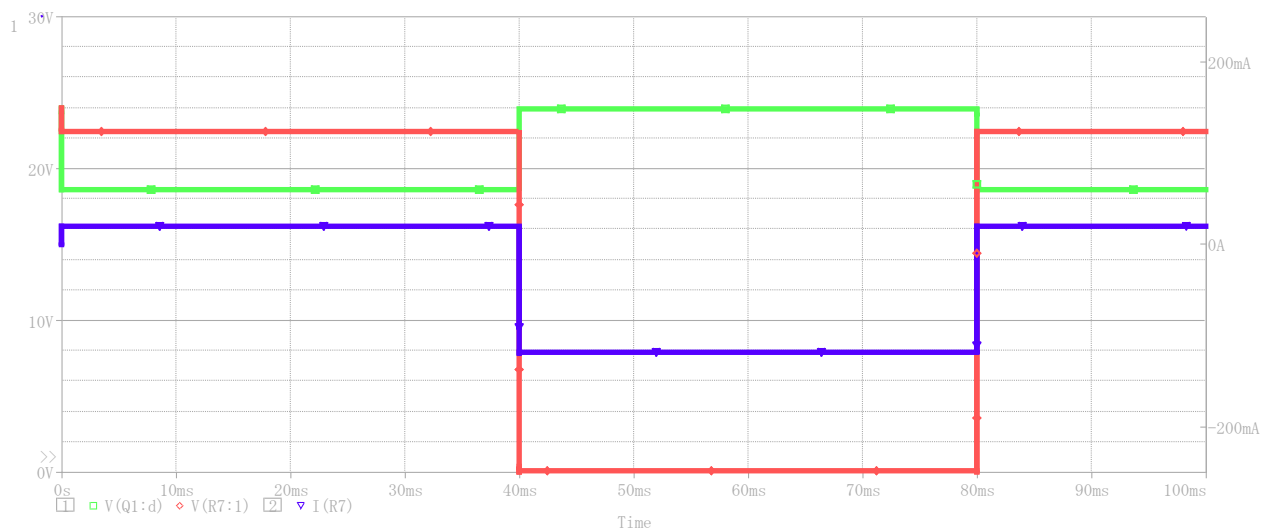
*Tabulka 1: Možné projevy poruchy jediného tranzistoru v můstku*

Spínaný tranzistor	Porucha	Napětí U1	Napětí U2	Proud zátěží	Zkratový proud můstkem
Q1	Zkrat	Dle stavu Q4 (téměř nulové)	Stále vysoké	Dle stavu Q4	Skrz Q1 a Q3
	Rozpojeno	Nulové	Nulové	Nulový	Nulový
Q2	Zkrat	Stále vysoké	Dle stavu Q3 (téměř nulové)	Dle stavu Q3	Skrz Q2 a Q4
	Rozpojeno	Nulové	Nulové	Nulový	Nulový
Q3	Zkrat	Dle stavu Q2	Nulové	Dle stavu Q2	Skrz Q1 a Q3
	Rozpojeno	Vysoké	Vysoké	Nulový	Nulový
Q4	Zkrat	Nulové	Dle stavu Q1	Dle stavu Q1	Skrz Q2 a Q4
	Rozpojeno	Vysoké	Vysoké	Nulový	Nulový
Bez poruchy		Odpovídající proudu zátěží	Odpovídající proudu zátěží	Daný zdrojem proudu	Nulový

Pozn: U1 – napětí v bodě 1 na zátěži R7

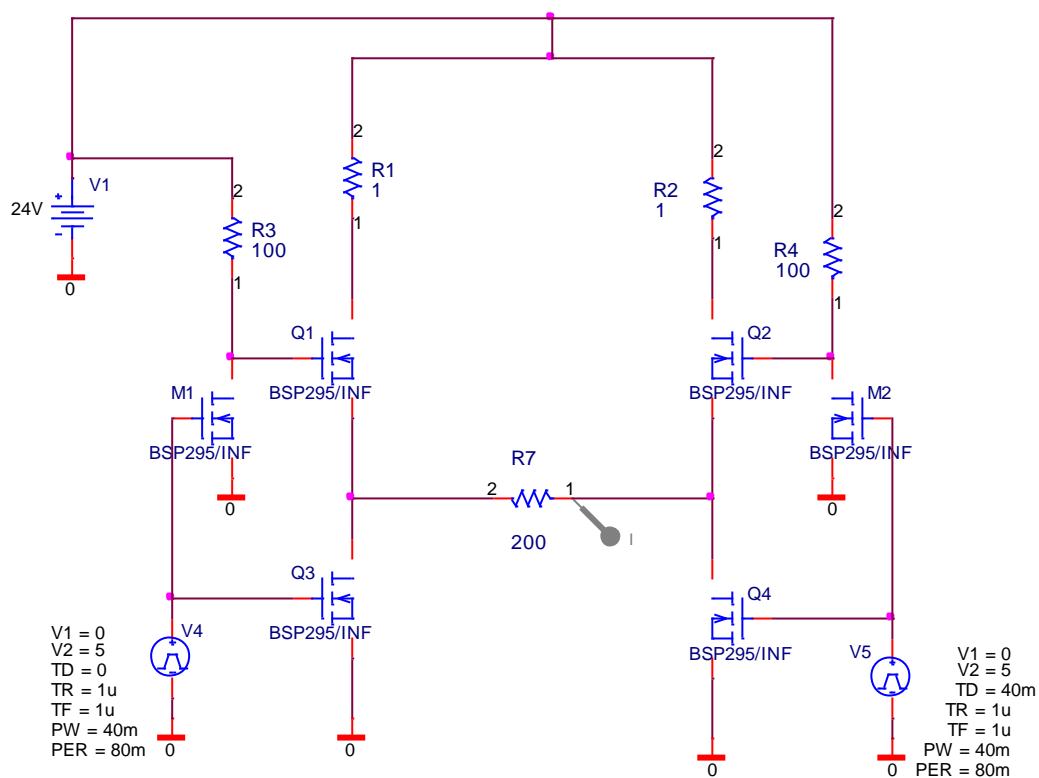
U2 – napětí v bodě 2 na zátěži R7

Zkratový proud můstkem – proud tekoucí větví s Q1 a Q3 nebo Q2 a Q4



Obr. 6: Příklad simulace můstku se zkratovaným Q1.

Pozn: Modře proud zátěži, červeně (R7-1) a zeleně (R7-2) napětí na zátěži proti zemi.



Obr. 7: Schéma výstupního H-můstku pro simulaci v programu PSPICE

## **2. Oživování měřičů tepla**

### **2.1 Stávající postup**

#### **Základní kontrola**

Elektronika průtokoměru se ověří vizuálně, případné nedostatky se opraví. Připojí se napájecí zdroj. Voltmetrem se zkontrolují napětí na měřicích bodech dle předpisu. Osciloskopem se kontrolují průběhy napětí na vybraných bodech.

#### **Budicí obvody cívek**

Místo cívek je zapojen výkonový rezistor o hodnotě 100 Ohm. Pomocí osciloskopu je nejprve zkontrolován časový průběh napětí na tomto rezistoru. Tím se ověří výstupní signál pro buzení cívek. Následně je jedna větev můstku trvale sepnuta a velikost proudu je přesně změřena ampérmetrem.

#### **Obvody měření teploty**

Namísto odporových snímačů teploty jsou připojeny dva pevné rezistory, které simulují nejnižší a nejvyšší měřenou teplotu. Kontrola zdroje proudu je provedena ručním změřením napětí na snímacím odporu v průtokoměru [4].

### **2.2 Metodika automatického oživení**

Při volbě způsobu automatického oživení jsou různé požadavky na metodu provedení oživení. Vzhledem k uplatnění tohoto přípravku při sériové výrobě je na prvním místě rychlost celého procesu, a dále je kladen požadavek na přesnost předběžné kalibrace měřiče. U dvojitého měřiče tepla je možnost ověřovat nejprve jeden kanál, a posléze přepojit oživovací přípravek na druhý kanál a oživit i ten. Zjednodušení by ale bylo vykoupeno složitější manipulací a delší dobou oživení. Nakonec byla zvolena koncepce, kdy se na výstupní konektor elektroniky, kam se normálně připojuje deska s výstupními svorkami, připojí upravená deska s připojeným svazkem vodičů, který je zakončen konektorem. Konektor je zapojen do přípravku a tím je zajištěno spojení všech potřebných signálů.

#### **Základní kontrola**

Přípravek se připojí k průtokoměru. Po aktivaci přípravku se průtokoměr zapne. Nejprve se změří stejnosměrná napětí na měřicích bodech(offsety, reference...) a časové průběhy logických signálů.

### **Buzení cívek**

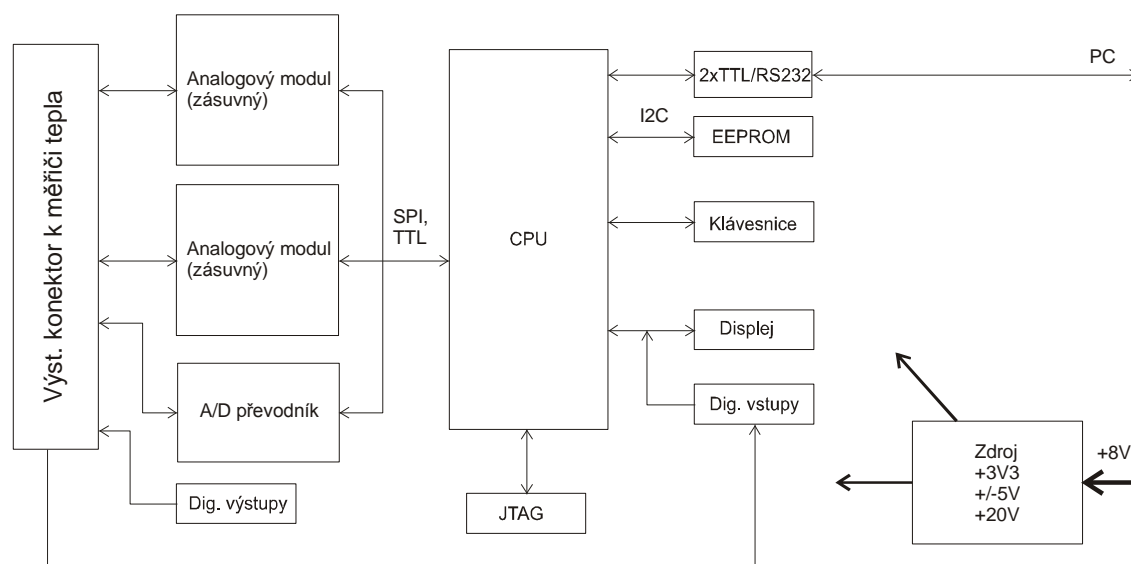
Ověří se kontrolou proudu pomocí napětí na snímacím odporu. Přípravek změří nejen hodnotu proudu a jeho časový průběh, ale i napětí na výstupu H-můstku průtokoměru vůči zemi, takže lze lépe identifikovat případnou vadu v budicích obvodech. Po kontrole buzení je pomocí D/A převodníku v přípravku generován signál simulující čidlo. Na měřicích bodech v průtokoměru je postupně ověřena správná funkce všech bloků, které zpracovávají signál z čidel.

### **Ověření měření teploty.**

Odporová čidla jsou nahrazena rezistory se známou hodnotou odporu. Napětí na těchto rezistorech je změřeno a tím se ověří správná funkce proudového zdroje pro měření teploty. Následně je změřeno napětí na snímacím rezistoru v průtokoměru, a ze známé hodnoty proudu je vypočtena hodnota tohoto snímacího rezistoru, která musí ležet v určitém rozsahu.

### 3. Popis zapojení

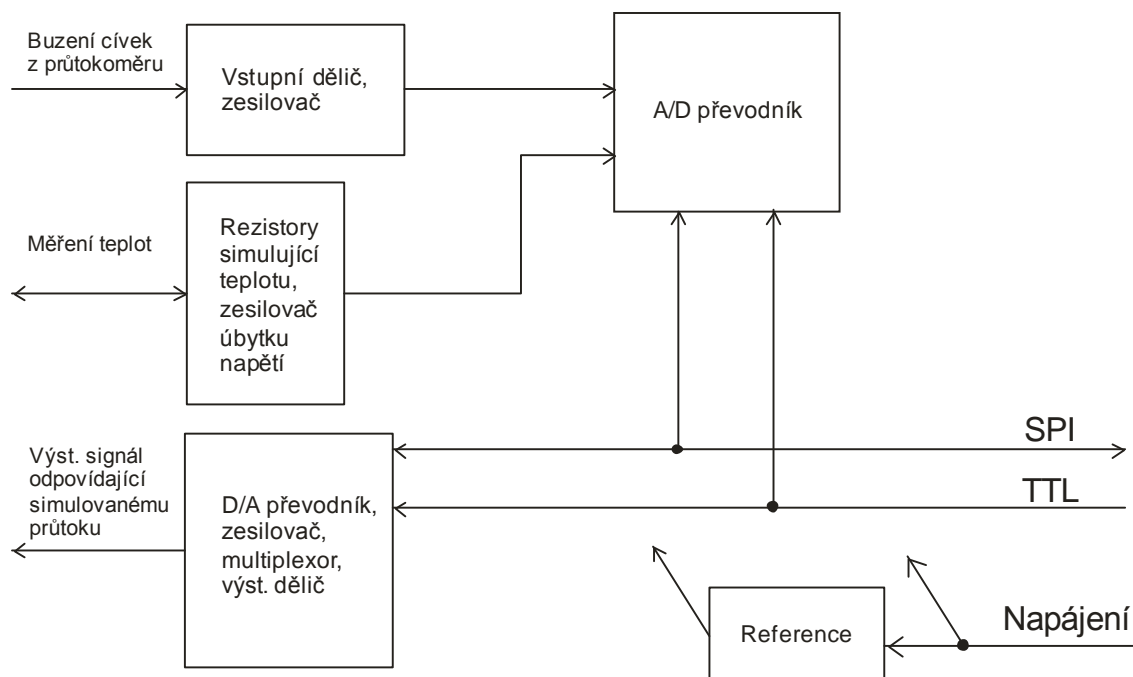
Při návrhu obvodového řešení přípravku byla zvolena koncepce základní desky s procesorem, digitálními vstupy a výstupy, napájecím zdrojem a jedním A/D převodníkem pro měření statických napětí. Základní deska je dále osazena dvěma identickými moduly simulace průtoku s D/A převodníkem, které dále realizují měření budicího proudu do cívek a jsou osazeny rychlým čtyřnásobným A/D převodníkem. Každý modul je s procesorem spojen pomocí rozhraní SPI, po kterém komunikují převodníky a dále logické signály pro ovládání ostatních částí modulu. Samostatný zdroj referenčního napětí je osazen na každé desce modulu.



Obr. 8: Blokové schéma oživovacího přípravku

#### 3.1 Analogový modul

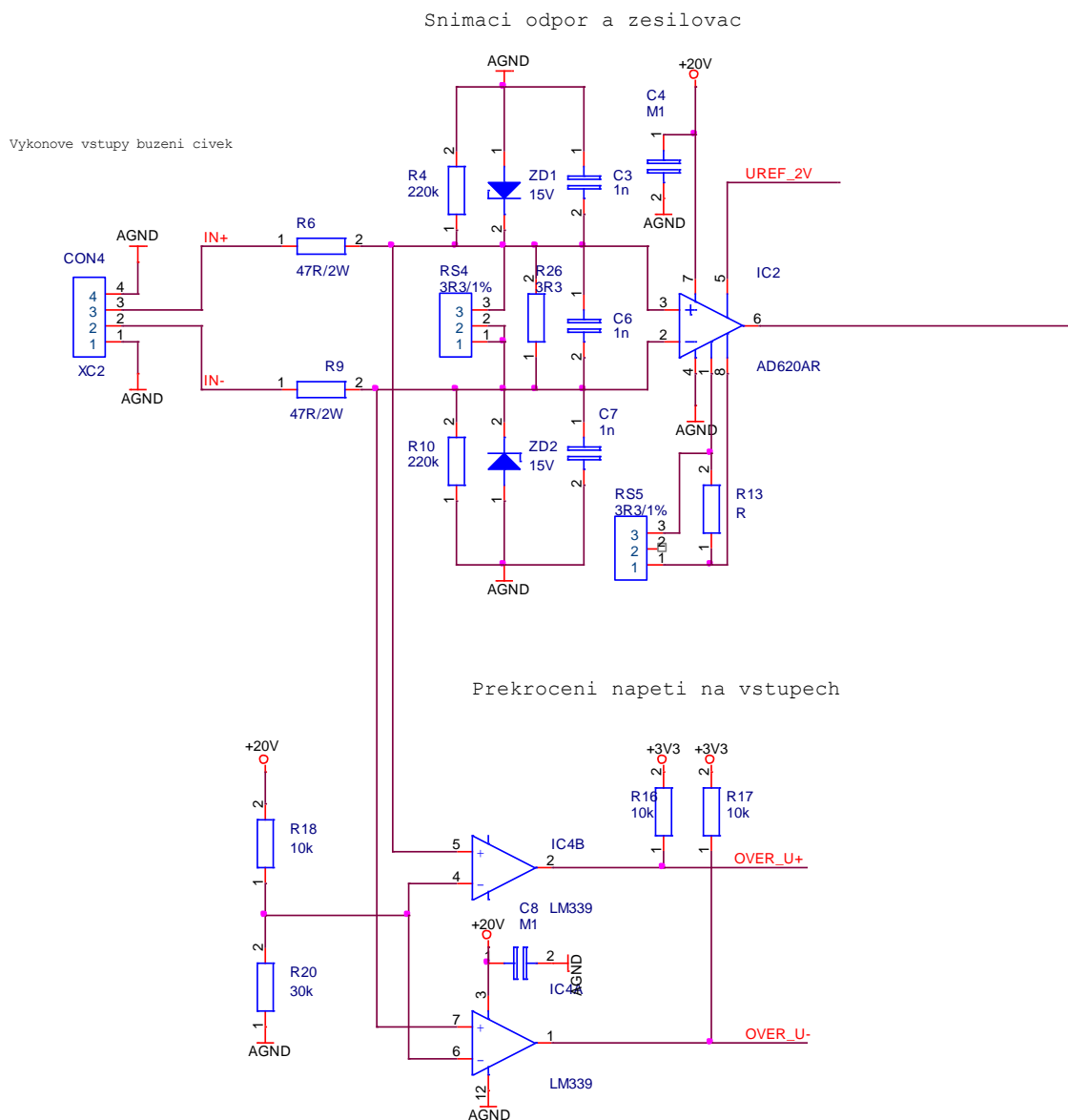
Analogový modul slouží k měření proudu buzení cívek a ke generování signálu simulovaného průtoku. Modul je na destičce o rozměrech 7x7cm. Připojení k základní desce je pomocí pinové lišty. Napájení toho zapojení vyžaduje několik úrovní. Je potřeba 20 V pro vstupní zesilovač,  $\pm 5V$  pro zbytek analogových obvodu a 3,3V pro digitální rozhraní. Blokové schéma modulu je na Obr. 9.



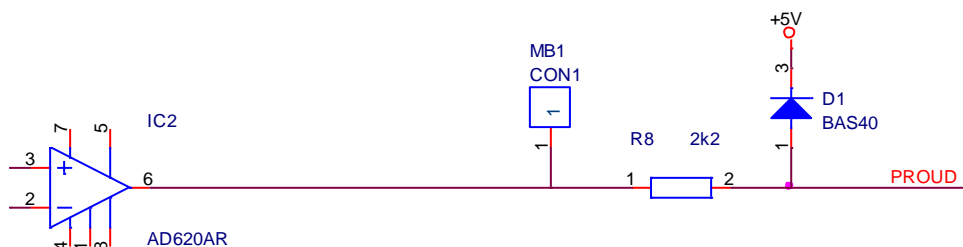
Obr. 9: Blokové schéma analogového modulu

Signál pro buzení cívek je přiveden na symetrický dělič tvořený dvěma výkonovými ( $R_{6,9}$ ) a jedním přesným odporem ( $R_{S4}$ ). Napětí na přesném snímacím odporu je zesíleno přístrojovým zesilovačem AD620 [5] se zesílením nastaveným pomocí přesného odporu  $R_{S5}$  a odpovídá hodnotě budicího proudu. Se snímacím odporem  $3,3\ \Omega$  je při nominálním proudu 125 mA úbytek napětí 0,4125 V. Referenční napětí A/D převodníku je 4,096 V, což je zároveň maximální vstupní napětí převodníku. Užitečný signál má ale proměnnou polaritu, je proto nutno zvolit zesílení přístrojového zesilovače tak, aby při stejnosměrném offsetu +2 V byla amplituda signálu maximálně  $\pm 2\text{V}$ , lépe s malou rezervou o něco méně. Pro odpor  $R_{S4} = 15\ \text{k}\Omega$  vychází zesílení 4,293 a výstupní signál má pak při 125 mA hodnotu  $2 \pm 1,77\ \text{V}$ . Napětí se tedy pohybuje od 0,23 V do 3,77 V což s rezervou splňuje vstupní parametry A/D převodníku. Aby při saturaci zesilovače nedošlo k přepětí na vstupu A/D převodníku, je zapojen ochranný obvod tvořený  $R_8$  a  $D1$ . Proti zemi je vstupní napětí omezeno Zenerovými diodami na 15V. Případné přepětí na vstupu, které se může objevit při vadném můstku v průtokoměru je indikováno komparátorem. Hodnota průchodu tohoto signálu nulou je zjišťována okénkovým komparátorem a je přivedena na přerušovací vstup procesoru. Analogový signál je nakonec přiveden do A/D převodníku. Pokud modul pouze měří proud, je převodník jednoduchý, AD7683 [6]. Pokud jsou ale ještě osazeny obvody pro kontrolu měření teplot, je tento převodník čtyřnásobný, AD7682 [7]. Tyto převodníky byly vybrány z důvodu jednoduchého připojení přes rozhraní SPI, vysoké rychlosti (250

kSps) a rozlišení 16 bitů. Integrační nelinearita je typ.  $\pm 1$ LSB. Na následujícím obrázku je schéma zapojení vstupních obvodů. Běžné odpory připojené paralelně k přesným odporům RS jsou zapojeny jen dočasně. Po osazení přesných odporů se odstraní.



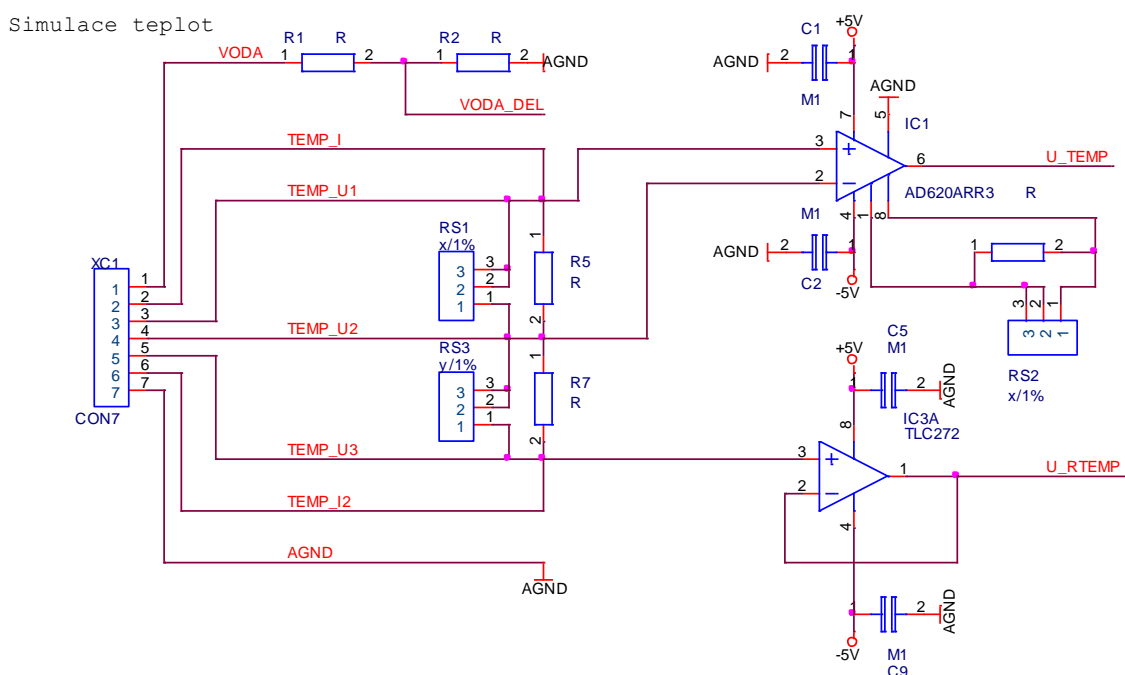
Obr. 10: Schéma zapojení vstupních obvodů analogového modulu



Obr. 11: Schéma zapojení ochranného obvodu

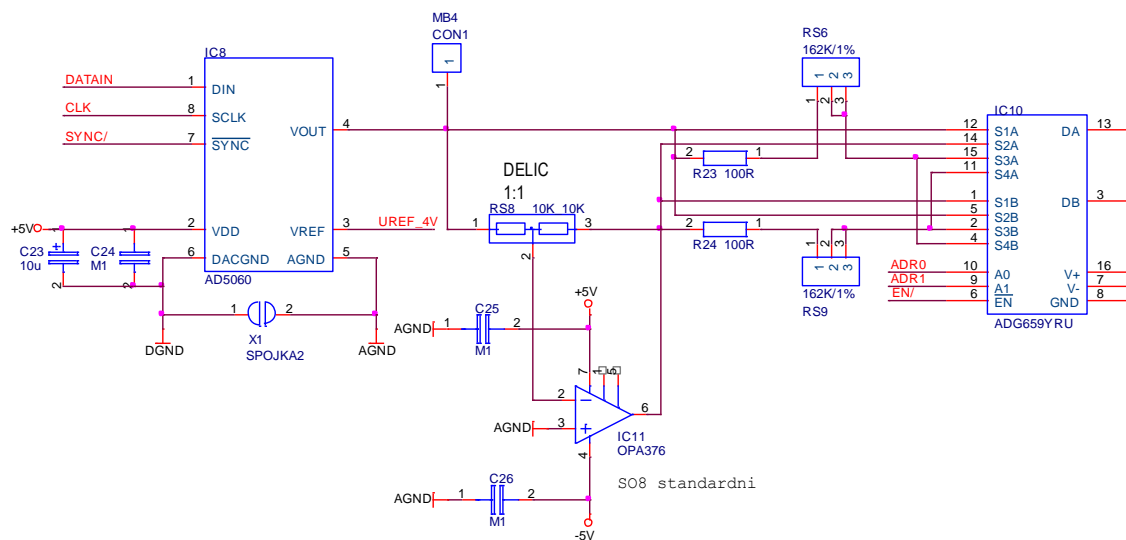


Měřič tepla snímá teplotu odporovými teplotními čidly. Modul obsahuje přesné odpory, které simulují určité teploty, zároveň je na nich měřen úbytek napětí, toto slouží ke kontrole zdroje proudu v měřiči tepla. Zesílené úbytky napětí jsou digitalizovány A/D převodníkem. Zapojení je na následujícím schématu. RS1 a RS3 nahrazují čidla Pt500, IC1 zesiluje úbytek napětí na odporu známé velikosti RS1. Byl použit přesný přístrojový zesilovač. Zesilovač IC3A zesiluje napětí vzniklé na snímacím odporu v průtokoměru. Kontrolou tohoto napětí se zjistí přesná hodnota odpovídajícího rezistoru.

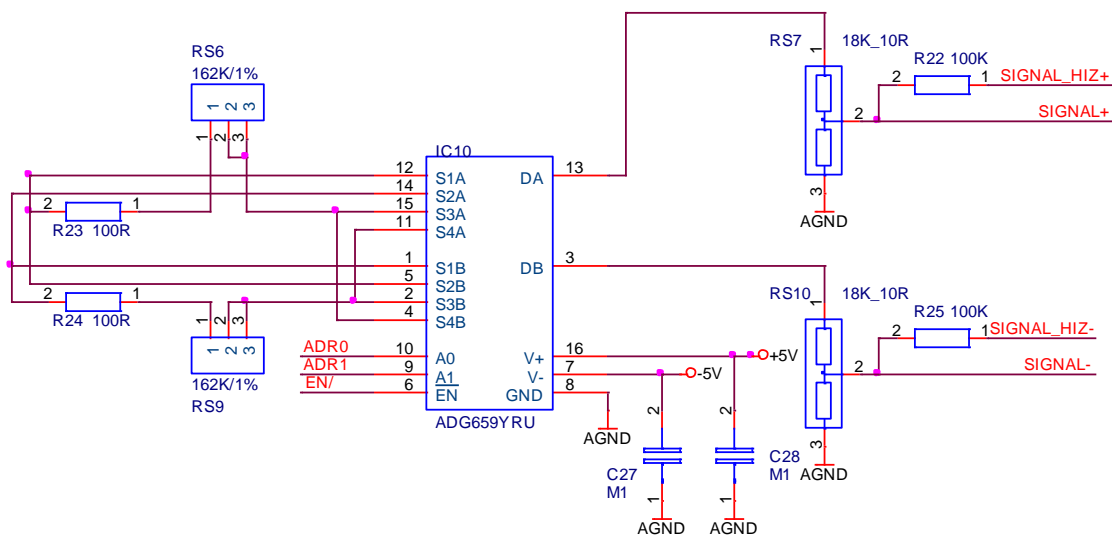


Obr. 12: Schéma zapojení simulátoru teplot analogového modulu

Simulace průtoku je uskutečněna pomocí D/A převodníku. Tento převodník generuje kladné výstupní napětí, které se nastaví přes rozhraní SPI. Napětí se invertuje pomocí invertujícího sledovače IC11, který má velmi malý offset 5  $\mu\text{V}$  [8]. Multiplexer IC10 [9] pak přepíná polaritu výstupního napětí. Toto napětí může jít na výstup napřímo, nebo přes vložené odpory RS6 a RS9, čímž dojde ke snížení rozsahu, ale ke zlepšení linearity. Plný rozsah je 2 mV, snížený 0,2 mV. Výstup D/A převodníku je 4 V, požadovaný dělič byl zvolen o poměru 18000:10  $\Omega$ . Předřazením odporu 162 k $\Omega$  pak dojde k desetinásobnému snížení výstupního rozsahu. Pro velký rozsah je tedy dělicí poměr 1800:1, pro malý 18000:1. Přesná hodnota děliče se dostaví sériovými odpory R23,24 a softwarovou kalibrací.

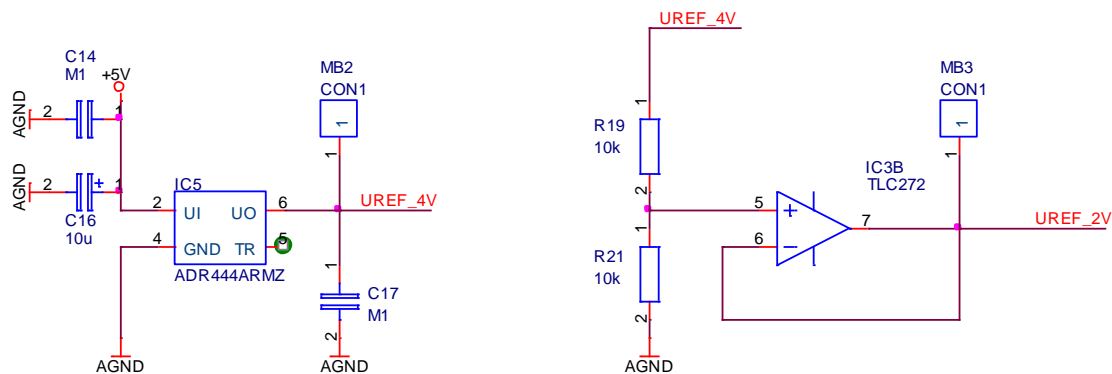


Obr. 13: Generování výstupního signálu - převodník



Obr. 14: Výstupní obvody simulace průtoku

Referenční napětí 4,096 V (zvoleno z důvodu 5 V napájení převodníků) je odebráno z obvodu IC9 [10], poloviční referenční napětí (pro posunutí vstupního signálu v IC2) je odebráno ze zesilovače IC3B [11].



Obr. 15: Schéma zapojení zdrojů referenčního napětí analogového modulu

### 3.2 Rozbor přesnosti měření proudu a generování signálu

Protože se jedná o přípravek pro oživování v dílenských podmínkách, budeme uvažovat rozsah teplot 10 až 30°C. Softwarovou kalibrací (při 20°C) se odstraní základní nepřesnosti analogového řetězce a na chybu měření má pak vliv především teplotní a časová stabilita použitých součástek.

U měření proudu je základní rozsah 125 mA, kdy se maximální proud projeví jako změna napětí na vstupu A/D převodníku ze 2 V na 3,77 V. Při referenčním napětí 4,096 V a 16b převodníku je jeho rozlišení 0,0625 mV což odpovídá 0,0044 mA a tedy cca 36 ppm. Teplotní závislost snímacího odporu je 10 ppm/K, odporu pro nastavení zesílení taktéž. Závislost výstupního offsetu OZ je 2,5  $\mu\text{V/K}$ , vstupního 0,1  $\mu\text{V/K}$ . Chyba napětí před zesílením je 42,255  $\mu\text{V}$ , což představuje chybu 100 ppm.

Dalším vlivem na přesnost je teplotní závislost zesílení, které je dáno odporem RS5 (10 ppm/K) a chybou zesílení zesilovače (-50 ppm/K). V celém teplotním rozsahu činí tento vliv -400 ppm.

Celková chyba vstupního zesilovacího řetězce je tedy  $\pm 300$  ppm v celém předpokládaném teplotním rozsahu  $20 \pm 10^\circ\text{C}$ .

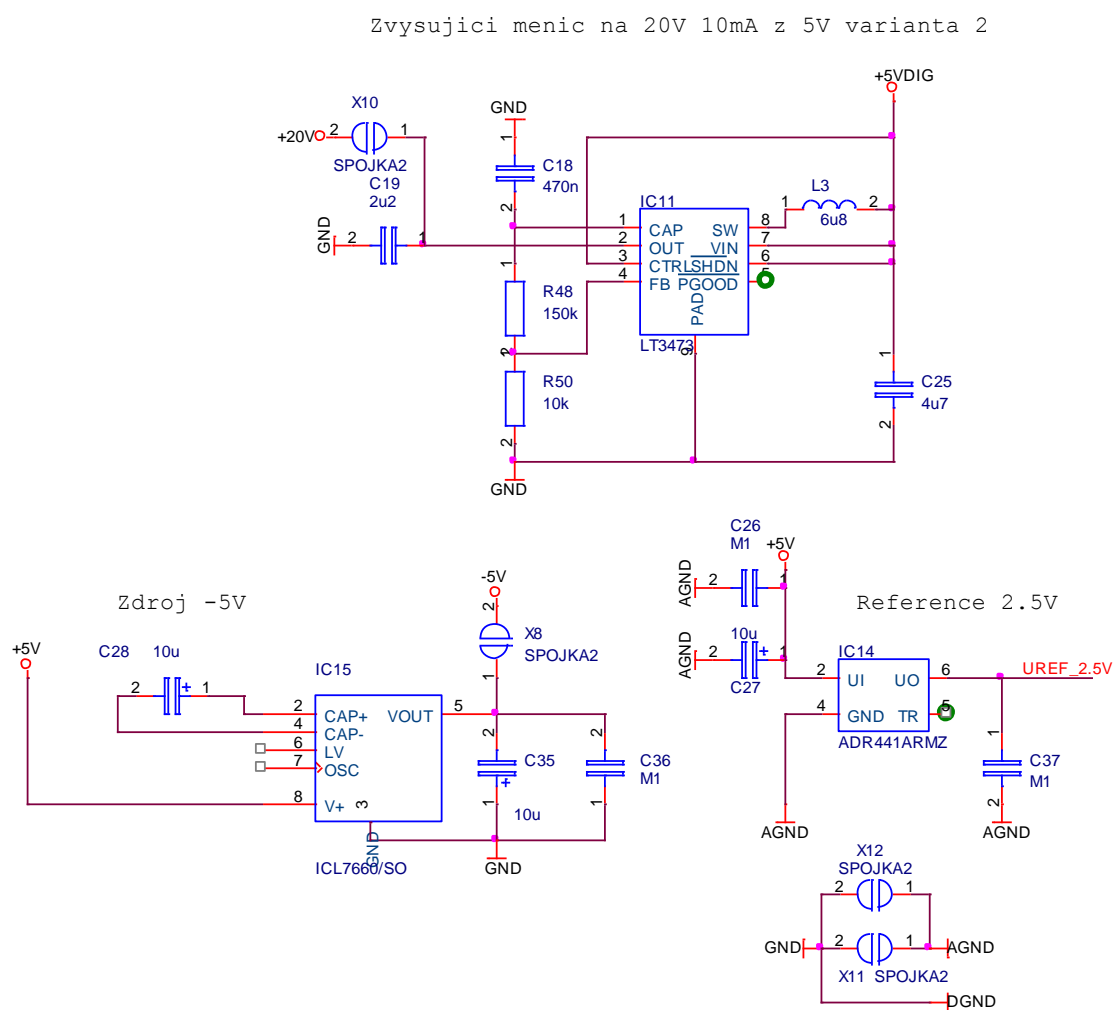
### 3.3 Rozbor přesnosti generování signálu

Na přesnost generování výstupního signálu má vliv zejména referenční napětí a vlastnosti D/A převodníku, jako jsou integrální a diferenciální nelinearita a kvantizační chyba. Většinu těchto chyb lze odstranit vícebodovou kalibrací a SW korekcí. Teplotní závislost takto však kompenzovat není možné. Teplotní závislost výstupního offsetu je 0,5  $\mu\text{V/K}$ , což činí při minimálním výstupním napětí 0,4 V 12,5 ppm. Po přičtení teplotní chyby zesílení 10 ppm/K je výsledná teplotní závislost max.  $\pm 22,5$  ppm. Teplotní závislost přechodového odporu multiplexeru se vzhledem k vysokému dělicímu poměru výstupního děliče téměř neprojeví. Dělič má teplotní závislost 2 ppm/K. Celková nepřesnost výstupního signálu by neměla přesáhnout  $\pm 50$  ppm.

Maximální povolená chyba zkoušeného měřiče by neměla přesáhnout 0,5 % z minimální měřené hodnoty. Maximální chyba generovaného signálu tedy odpovídá požadavkům na přesnost.

### 3.4 Základní deska

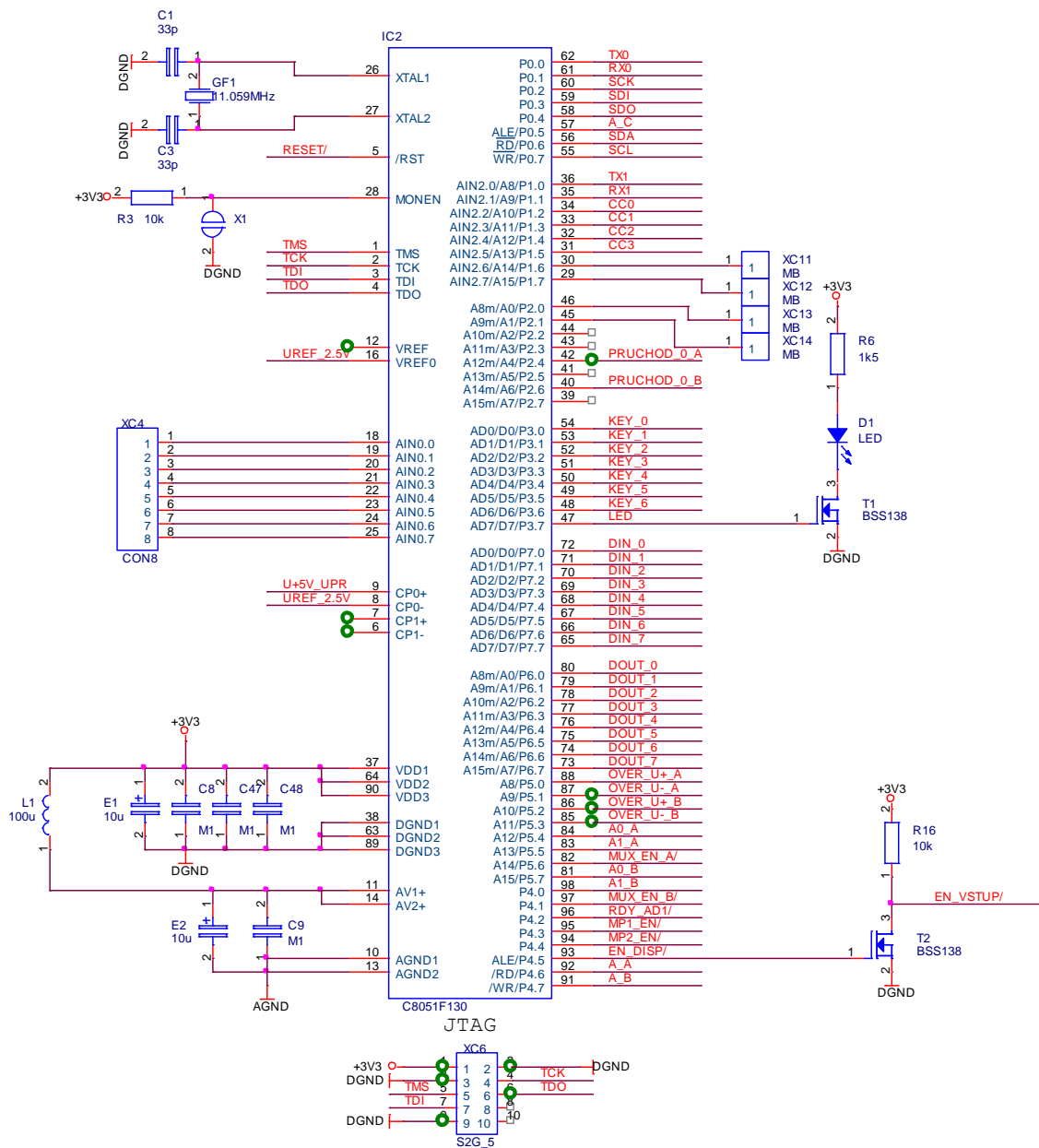
Základní deska tvoří hlavní část přípravku. Zařízení je napájeno externím zdrojem stejnosměrného napětí o velikosti cca. 8V. Proti přepólování napájecího napětí je v sérii zařazena dioda D2, proti přepětí chrání Zenerova dioda a pojistka. První ze zdrojů je lineární stabilizátor na 5V, za ním následuje LDO stabilizátor na 3,3V pro napájení digitální části zařízení. Protože některé operační zesilovače jsou napájeny symetricky, je ve funkci zdroje -5V osazen obvod ICL7660 v katalogovém zapojení [12]. Vstupní zesilovač modulu simulátoru průtoku navíc potřebuje +20V. Toto napětí generuje spínaný zdroj s MC34063 [13] nebo s modernějším obvodem LT3473, který v sobě integruje jak spínací tranzistor, tak usměrňovací diodu [14]. Stačí tedy připojit tlumivku a kondenzátory. Pájecími ploškami lze vybrat, který z těchto zdrojů bude napájet větev +20V.



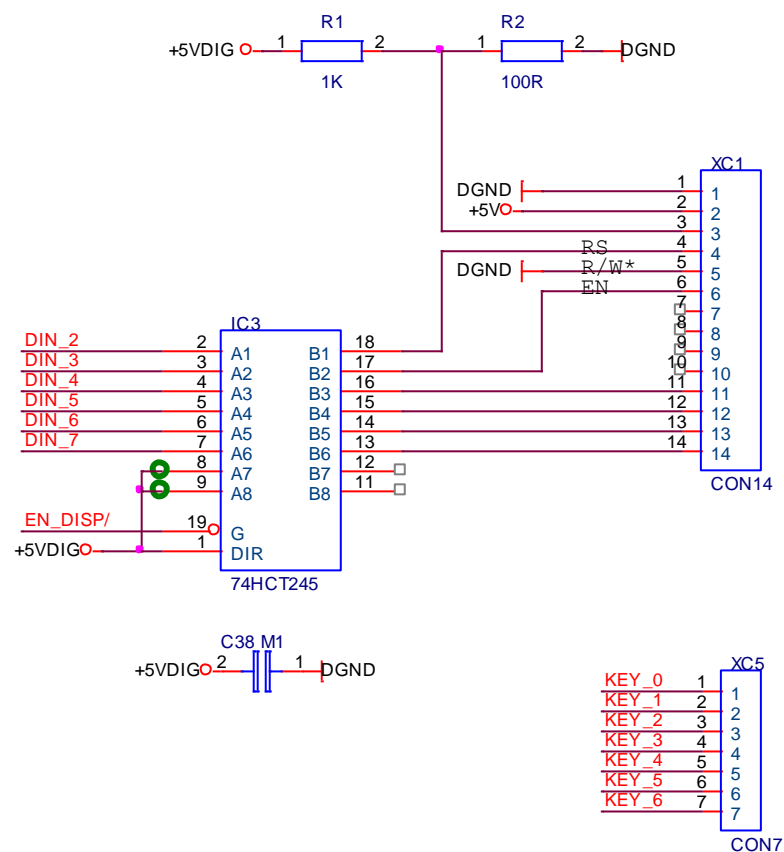
Obr. 16: Schéma měniče +20V, -5V a reference

Jádrem oživovacího přístroje je mikroprocesor řady 51, konkrétně typ C8051F130 od firmy Silabs. Obsahuje 128 kB programové paměti Flash a 8 kB RAM [15]. Architektura mikroprocesorů řady 51 již sice není nejnovější, ale je stále velmi rozšířená a podporovaná. Je k dispozici velké množství ukázkových programů, knihoven i vývojových prostředků. Oscilátor je s externím krystalem, reset je zajištěn jednoúčelovým obvodem ADM803, případně je možno resetovat procesor tlačítkem [16]. Rozhraní JTAG pro programování a ladění je vyvedeno na konektor, ke kterému se připojuje programátor. Oba dva sériové porty procesoru jsou přes převodník úrovní TTL/RS232 vyvedeny na externí svorkovnice. CPU je vybaven šesti moduly compare/capture, které v tomto zapojení slouží k měření frekvencí digitálních signálů. Protože je měřených signálů 8, jsou multiplexovány obvodem IC4, který zároveň slouží jako převodník 5V/3,3V a odděluje procesor od vlastních měřených signálů. Pro komunikaci s okolím kromě sériového rozhraní souží také displej a klávesnice. Maticová klávesnice je připojena přímo na port procesoru, displej přes budič sběrnice 74HCT245. Displej je připojen na stejný port jako osmice univerzálních digitálních vstupů, přepínáním směru budičů lze pak buďto zapisovat na displej, nebo načítat hodnoty digitálních vstupů. 8 digitálních výstupů je vyvedeno z portu CPU přes budič ven na samostatný konektor. Paměť EEPROM pro ukládání konfigurace je připojena přes rozhraní procesoru I2C. Všechny A/D a D/A převodníky osazené na modulech tak i A/D převodník na základní desce komunikují po rozhraní SPI, jednotlivé signály chip select generuje dekodér IC5 typu 74138.

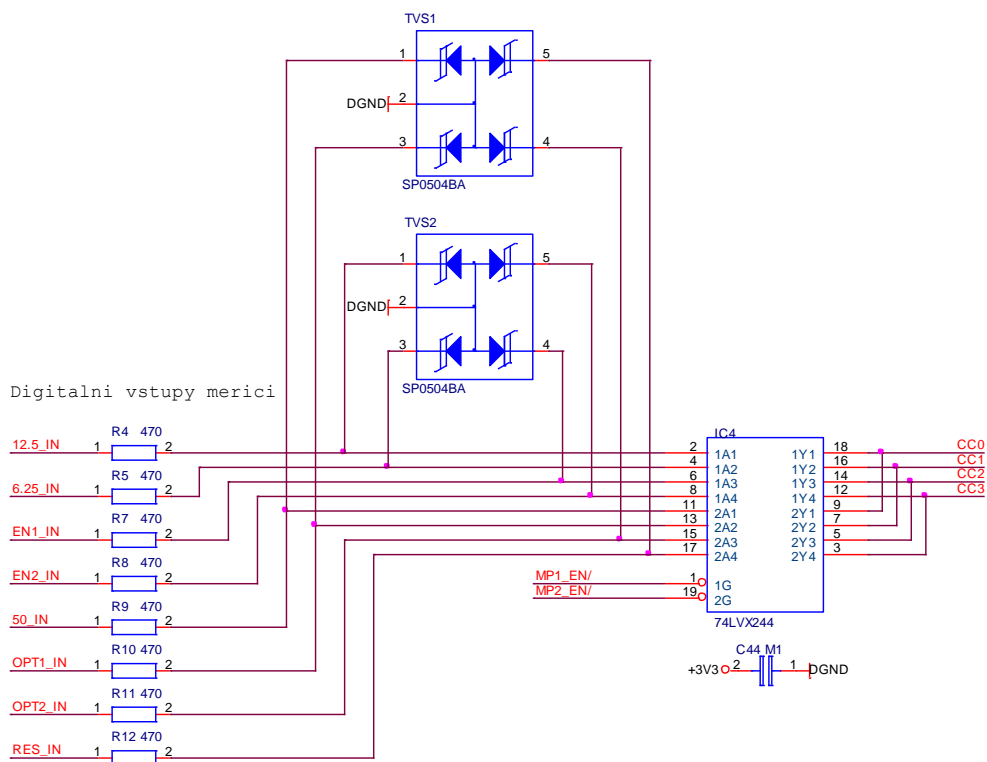
Na hlavní 50ti pinový konektor jsou vyvedeny všechny signály které slouží k ověření funkce průtokoměru. Buzení cívek, výstup pro průtok a vstupy pro měření teplot jsou z konektoru přivedeny přímo na analogový modul. Ostatní analogové signály jsou připojeny k procesoru přes převodník AD7731. Jedná se o šestinásobný sigma-delta převodník s rozlišením až 24b. Maximální vstupní frekvence je 800 Hz, proto je použitý jen pro měření stejnosměrných napětí, kde je velká přesnost výhodou. Digitální signály jsou připojeny přes budič. Všechny vstupy a výstupy jsou chráněny pomocí transilů.



Obr. 17: Zapojení mikroprocesoru



Obr. 18: Zapojení klávesnice a displeje



Obr. 19: Multiplexované vstupy pro měření frekvencí

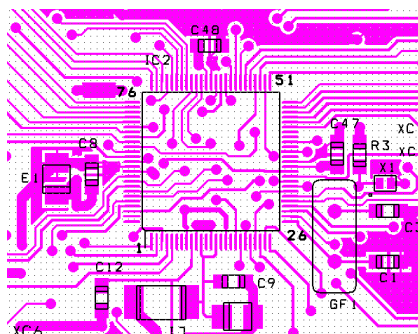
## 4. Realizace

Pro kreslení schémat a desek s plošnými spoji byl zvolen systém OrCAD v10.3. Tento systém v sobě mimo jiné sdružuje editor schémat Capture a editor plošných spojů Layout. Netlist, který se vygeneruje ze schématu obsahuje všechny informace potřebného návrh DPS a importuje se do programu Layout. Zde probíhá klasický návrh DPS, ručně nebo s pomocí autorouteru. Návrh DPS zabral velkou část času.

### 4.1 Desky plošných spojů

Jak bylo uvedeno, skládá se zařízení celkem ze tří desek. Dvě desky analogového modulu jsou shodné. Mají rozměr 61x61 mm a jsou oboustranné s prokovenými otvory. Osazení součástkami je převážně technologií SMD, z obou stran. Vývodovou montáž používají pouze výkonové odpory a jednořadé konektory určené k připojení k základní desce.

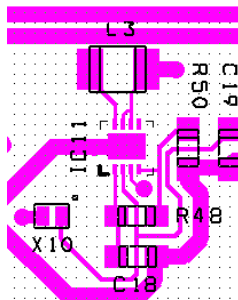
Základní deska má velikost 180x140mm. V její levé části jsou umístěny napájecí obvody, vpravo pak analogové modulu. V přední části je mikroprocesor a ostatní obvody. Konektory jsou umístěny u zadní (napájení, hlavní připojení k oživovanému přístroji) a přední (klávesnice, displej) hrany základní desky. Vzhledem ke složitosti zapojení je hustota spojů velmi velká. U citlivých analogových signálů, jako jsou výstupy z analogových modulů byla snaha o co nejkratší spoje a jejich dobré stínění a oddělení od ostatních signálů z důvodů možného naindukování rušení. Tomu napomáhá také rozlitá měď, která je vodivě spojená se zemí. Tato měděná plocha je rozdělená na analogovou a digitální zem, jejich spojení je možné na různých místech pomocí propojek. Takto se jednoduše otestuje nejvhodnější uspořádání. U číslicových obvodů byl kladen důraz na správné umístění blokovacích kondenzátorů napájení.



Obr. 20: Umístění blokovacích kondenzátorů



Důležité je i umístění indukčností u spínaných zdrojů co nejbližší k integrovanému obvodu.



*Obr. 21: Umístění cívky spínaného zdroje +20V*

Osazení základní desky je převážně technologií SMD, vývodové součástky jsou zastoupeny jen konektory a elektrolytickými kondenzátory. Součástky jsou jen na horní straně kvůli případné montáži do vhodné krabičky. Analogové moduly jsou osazeny z obou stran, byla snaha na spodní stranu umístit jen blokovací kondenzátory napájení, což se podařilo.

#### **4.2 Osazení a oživení**

Desky plošných spojů byly osazeny ručně, drobnější součástky pomocí pájecí pasty a přetavení horkým vzduchem, ostatní komponenty byly připájeny klasicky. Vzhledem k roztečím vývodů některých součástek a jejich velmi malé velikosti byl osazovací proces složitý a zdlouhavý. Namísto přesných odporů byly použity prozatím součástky běžné. Ochranné transily osazeny nebyly.

Při oživení byla ověřena funkce zdrojů, resetu procesoru a rozhraní JTAG. Displej ani klávesnice zatím nebyly připojeny, protože firmware procesoru je zatím nepodporuje.

Na fotografiích v příloze je vidět základní deska i analogové moduly.

## Závěr

Byl proveden návrh postupu automatického oživení, který kopíruje předpis pro ruční oživení s tím, že automatický postup nevyžaduje zásah pracovníka a dokáže alespoň přibližně určit místo závady v měřiči. Tento bod se týká nejvíce poruchové části, výstupního můstku. Jeho simulací bylo zjištěno, že lze orientačně určit vadnou součástku na základě měření proudu a napětí na zátěži. Simulace průtoku probíhá ve dvou rozsazích z důvodu vyšší přesnosti při nízkých hodnotách. Oživovací přípravek má velké vstupní odpory, zatěžuje jen minimálně měřený přístroj. Při použití dlouhých vodičů a měření na citlivých místech by bylo vhodné doplnit vysokoimpedanční sledovače napětí co nejbližně měřenému přístroji. Koncepce přístroje s tímto počítá, je vyvedeno potřebné napájení na hlavní konektor.

Původní koncepce počítala s přípravkem jako periferií k PC, kdy by oživovací proces byl zcela řízen počítačem a přípravek by byl bez ovládacích prvků. Aby byl přípravek univerzálnější a použitelný i bez počítače, například jako simulátor průtoku při použití v servisu, byla doplněna možnost připojení maticové klávesnice a znakového LCD displeje.

Oživovací přípravek je navržený jako dvojitý, ale s minimálními změnami ho lze osadit jen částečně a použít jen jednu polovinu zařízení pro oživování jednoduchých měřičů.

## Seznam použité literatury

- [1] *KADLEC, Karel*. Měřicí technika [online]. 2007 [cit. 2011-05-10]. Měření tepla. Dostupné z WWW: <[http://web.vscht.cz/kadleck/archiv/MT\\_INaRP/MT-INFaRP07\\_Teplo.pdf](http://web.vscht.cz/kadleck/archiv/MT_INaRP/MT-INFaRP07_Teplo.pdf)>.
- [2] *ĎAĎO, Stanislav*.: Měřicí obvody indukčních průtokoměrů. Automa 11,12/2005
- [3] *EESA* [online]. 2011 [cit. 2011-05-10]. Program VIEW32. Dostupné z WWW: <<http://www.eesa.cz/index.php?lng=cz&pg=pro5>>.
- [4] *EESA*, firemní dokumentace k měřiči tepla MT200DS
- [5] *Analog Devices* [online]. 2004 [cit. 2011-05-10]. Katalogový list AD620. Dostupné z WWW: <[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD620.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD620.pdf)>.
- [6] *Analog Devices* [online]. 2008 [cit. 2011-05-10]. Katalogový list AD7683. Dostupné z WWW: <[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD7683.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7683.pdf)>.
- [7] *Analog Devices* [online]. 2008 [cit. 2011-05-10]. Katalogový list AD7682. Dostupné z WWW: <[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD7682.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7682.pdf)>.
- [8] *Texas Instruments* [online]. 2010 [cit. 2011-05-10]. Katalogový list OPA376. Dostupné z WWW: <<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/opa376.pdf>>.
- [9] *Analog Devices* [online]. 2009 [cit. 2011-05-10]. Katalogový list ADG659. Dostupné z WWW: <[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADG658\\_659.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADG658_659.pdf)>.
- [10] *Analog Devices* [online]. 2010 [cit. 2011-05-10]. Katalogový list ADR444. Dostupné z WWW: <[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADR444.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADR444.pdf)>.
- [11] *Texas Instruments* [online]. 2002 [cit. 2011-05-10]. Katalogový list TLC272. Dostupné z WWW: <<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/tlc272.pdf>>.
- [12] *Intersil* [online]. 2005 [cit. 2011-05-10]. Katalogový list ICL7660. Dostupné z WWW: <<http://www.intersil.com/data/fn/fn3072.pdf>>.
- [13] *On Semiconductor* [online]. 2010 [cit. 2011-05-10]. Katalogový list MC34063. Dostupné z WWW: <[http://www.onsemi.com/pub\\_link/Collateral/MC34063A-D.PDF](http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MC34063A-D.PDF)>.

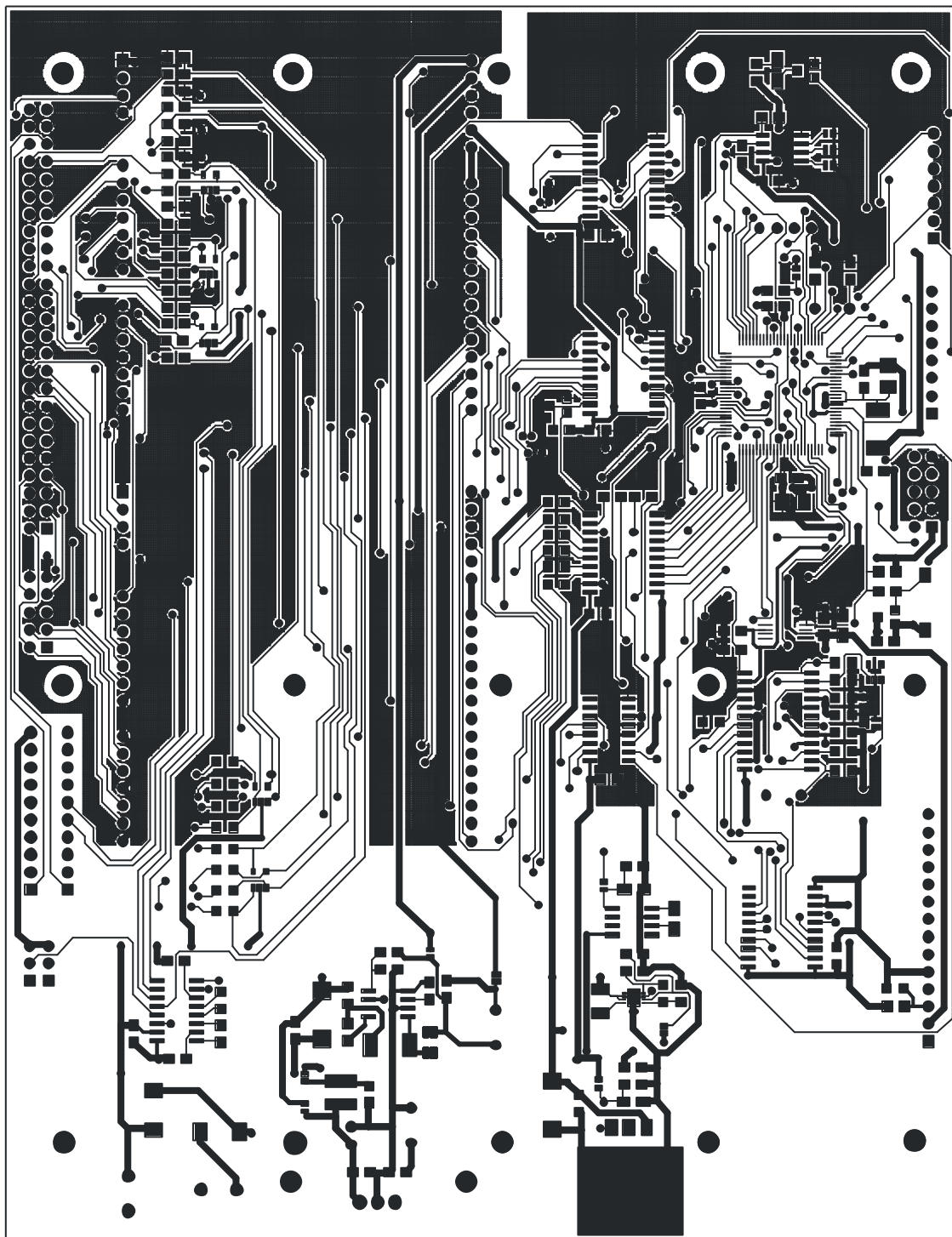
- [14] *Linear technology* [online]. 2011 [cit. 2011-05-10]. Katalogový list LT3473. Dostupné z WWW: <<http://cds.linear.com/docs/Datasheet/3473f.pdf>>.
- [15] *Silabs* [online]. 2004 [cit. 2011-05-10]. Katalogový list C8051F130. Dostupné z WWW: <<http://www.keil.com/dd/docs/datashts/silabs/c8051f12x-13x.pdf>>.
- [16] *Analog Devices* [online]. 2008 [cit. 2011-05-10]. Katalogový list ADM803. Dostupné z WWW: <[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADM803.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADM803.pdf)>.

## Obsah přiloženého CD

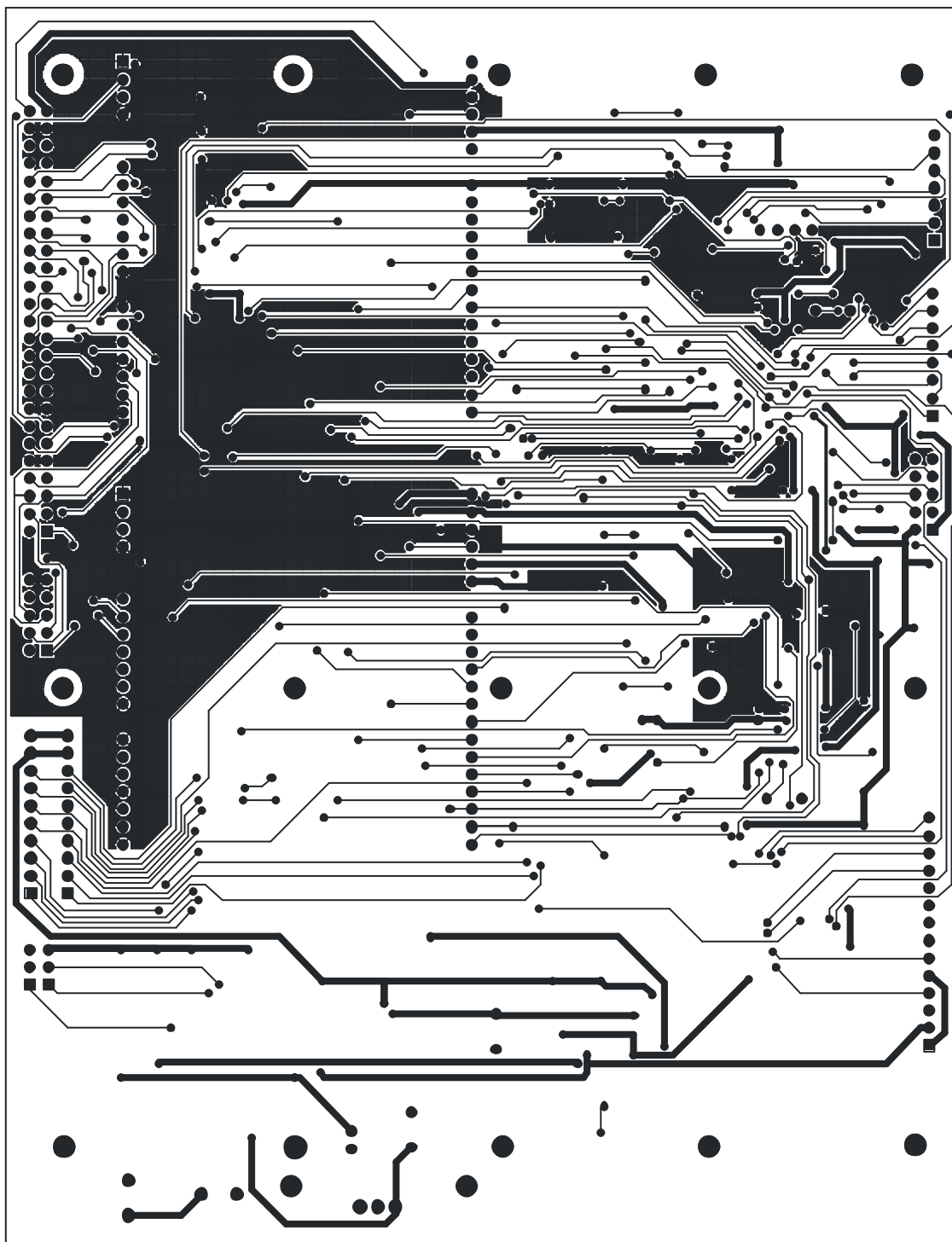
- Bakalářská práce ve formátu PDF, DOCX a DOC
- Simulační schéma H-můstku
- Katalogové listy použitých obvodů
- Výrobní dokumentace přípravku
  - Schémata a výkresy desek s plošnými spoji
  - Výrobní data pro DPS ve formátu Gerber
  - Osazovací plánky
  - Seznamy součástek

## Příloha A – Motivy desek s plošnými spoji

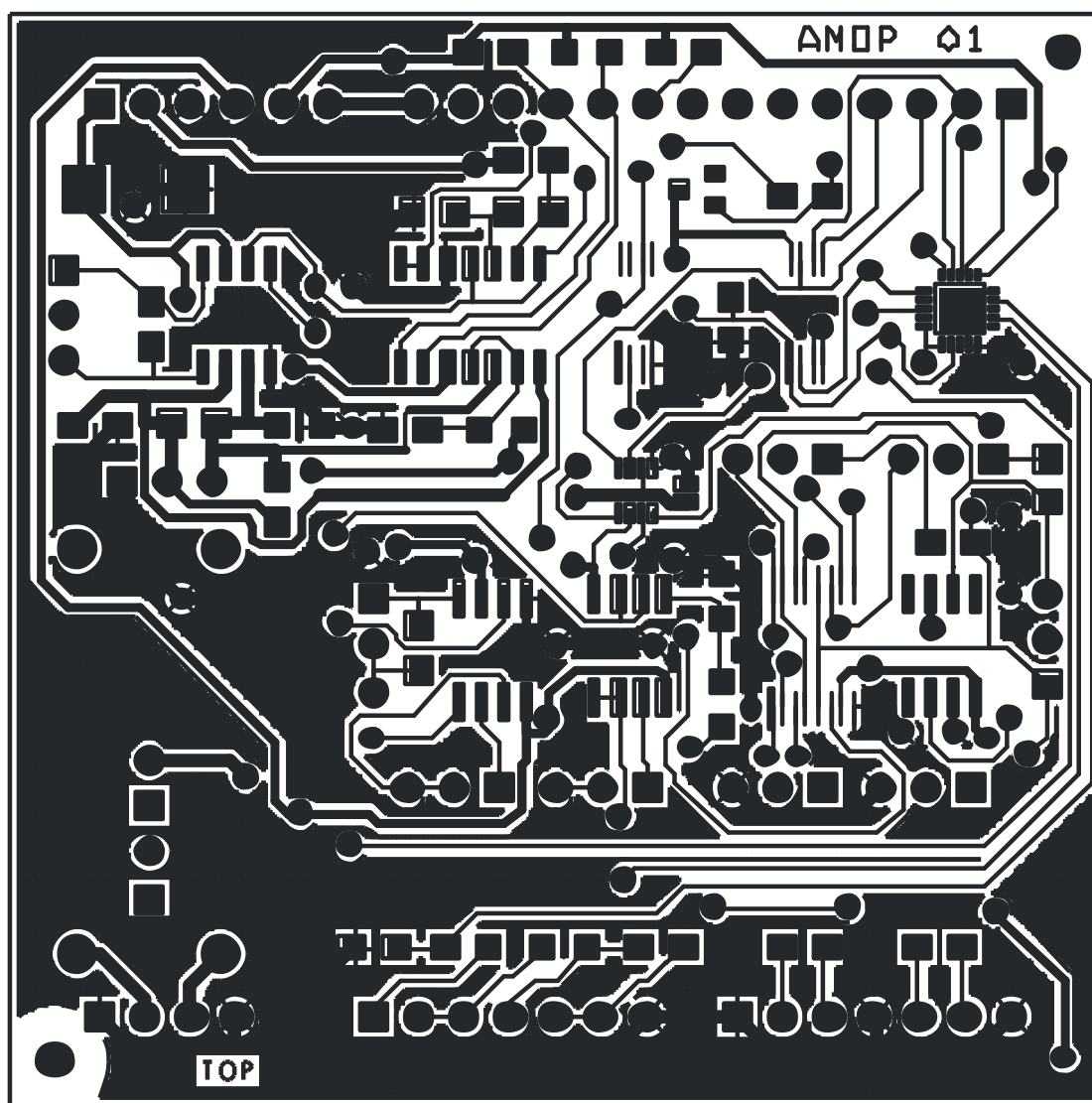
### Základní deska – horní strana



## Základní deska – spodní strana

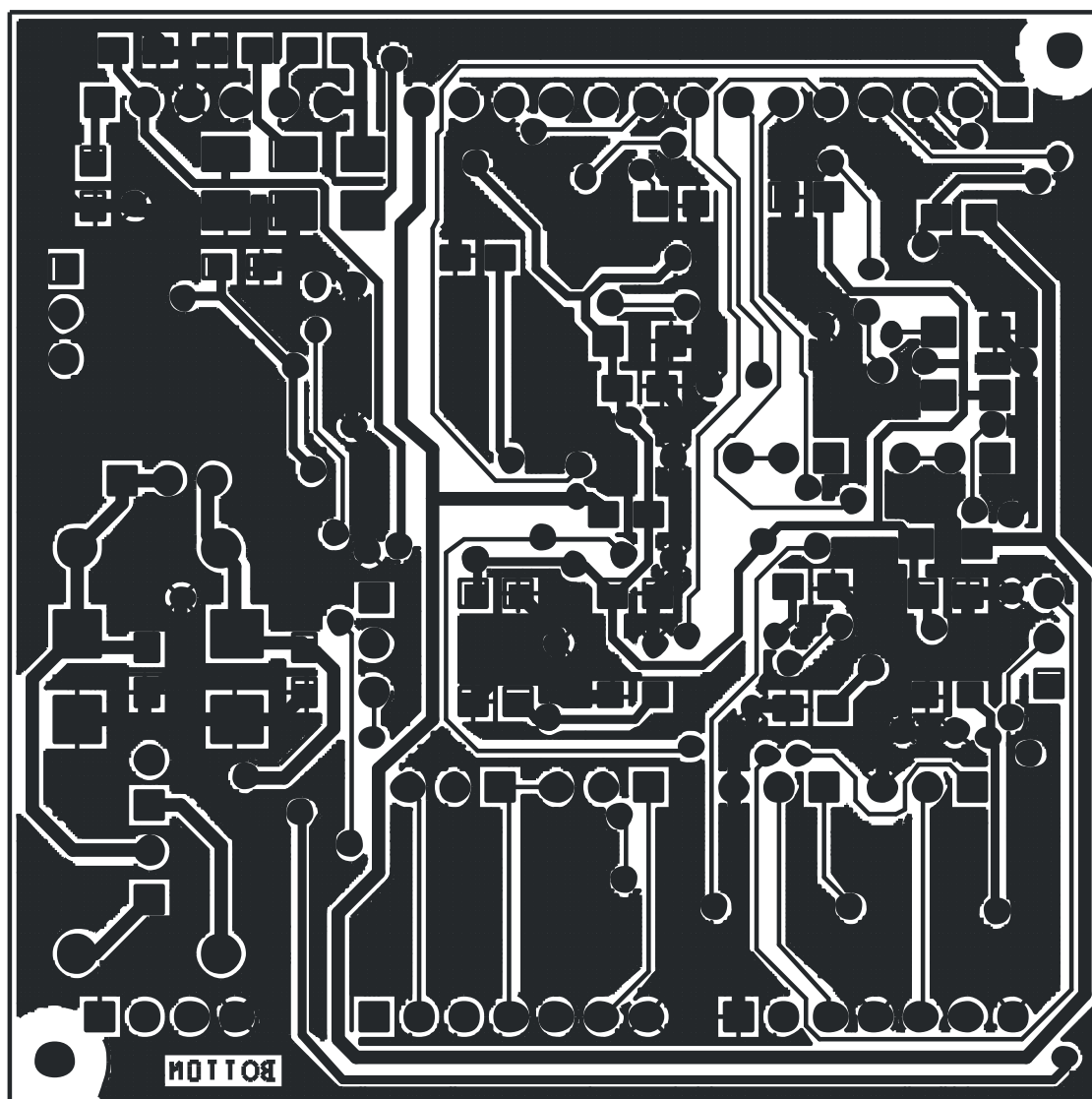


## Analogový modul – horní strana



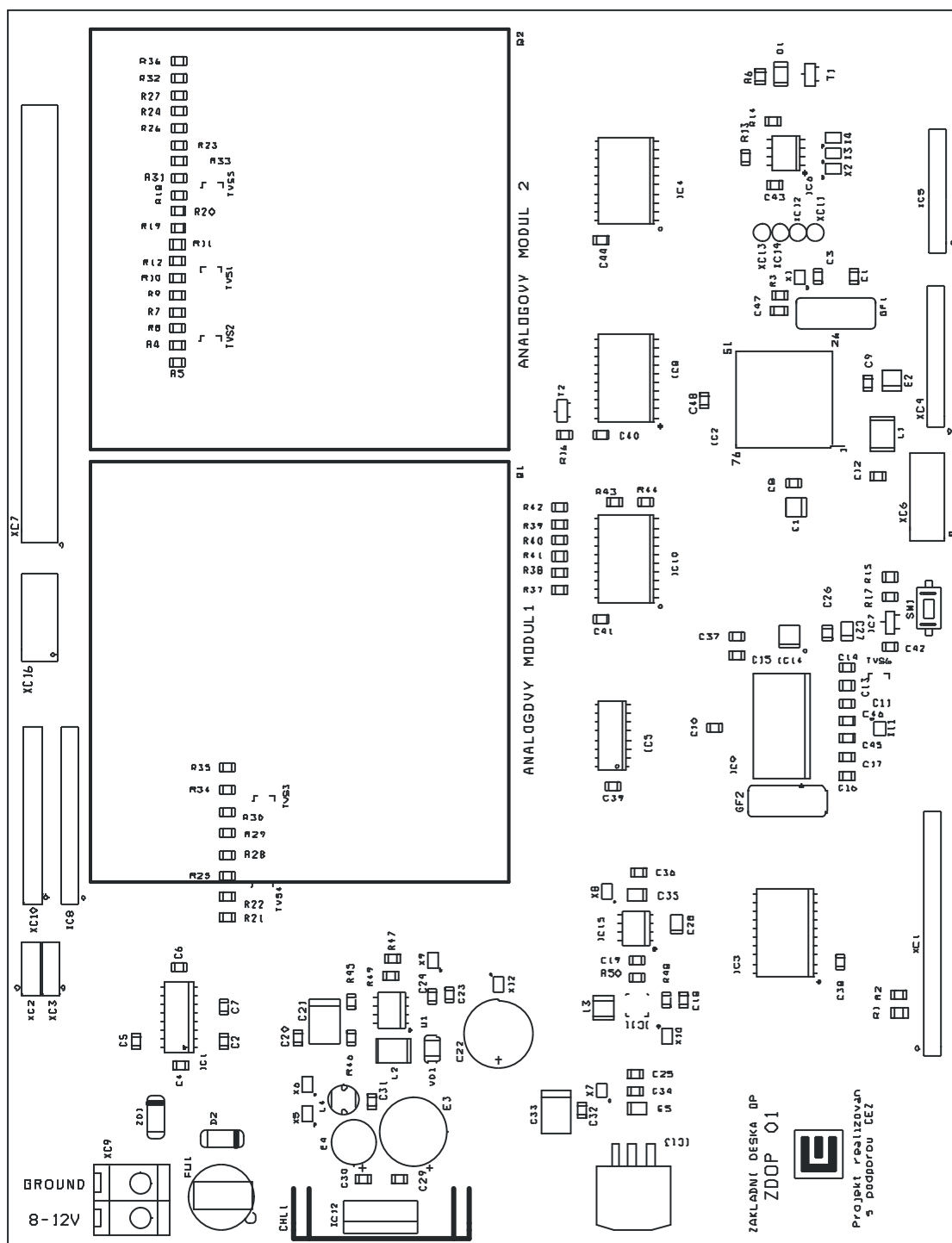


**Analogový modul – spodní strana**

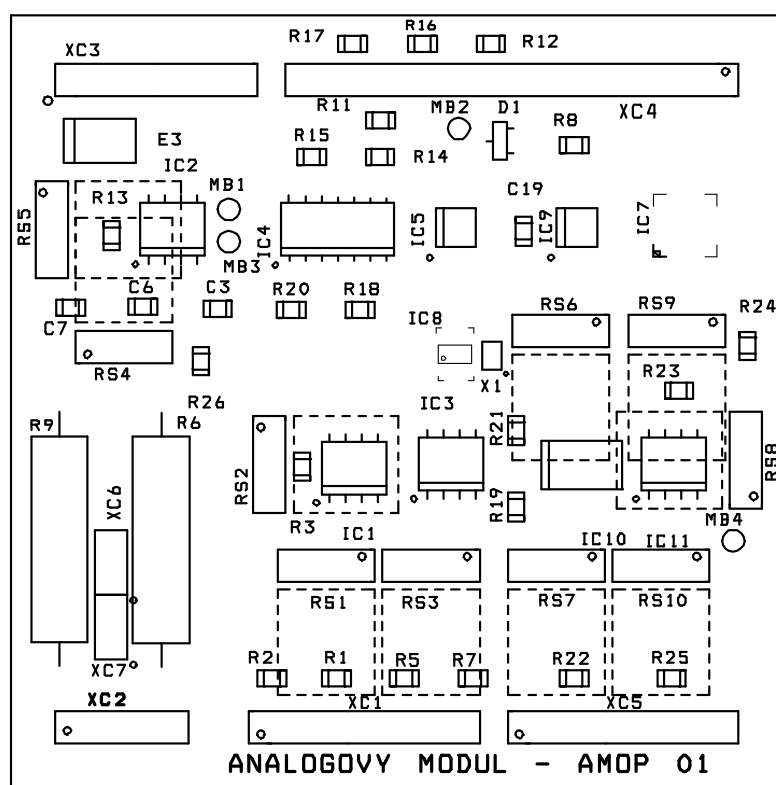


# Příloha B – Osazovací plánky

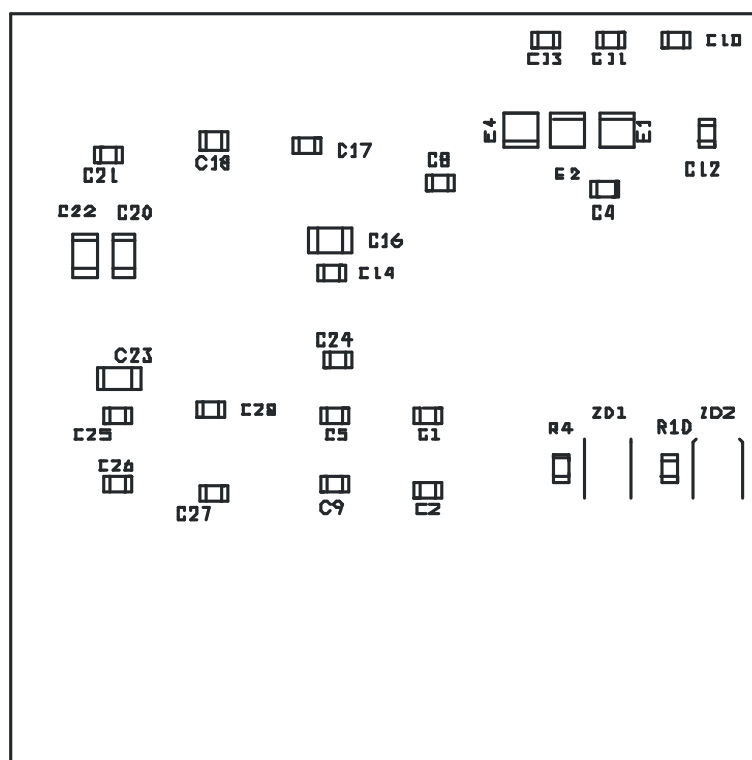
## Základní deska



## Analogový modul – horní strana



## Analogový modul – spodní strana



## Příloha C – Seznam součástek – základní deska

Množství	Označení	Typ	Pouzdro
1	CEZ	CON1	CEZ_SST
1	CHL1	CHLADIC	CHLADIC
4	C1, C3, C16, C17	33p	0805
28	C2, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C20, C23, C26, C29, C30, C31, C32, C34, C36, C37, C38, C39, C40, C41, C42, C43, C44, C45, C46, C47, C48	M1	0805
6	C10, C11, C12, C13, C14, C15	1n	0805
1	C18	470n	0805
1	C19	2u2	0805
2	C21, C33	47u	TANTAL_D
1	C22	470u/25V	ELYT10
1	C24	150p	0805
1	C25	4u7	0805
4	E5, C27, C28, C35	10u	TANTAL_A
1	D1	LED	0805_1206
1	D2	1N4007	MELF
2	E1, E2	10u	TANTAL_B
1	E3	470u/16V	ELYT10
1	E4	10u	ELYT6
1	FU1	400MA	POJ_W
1	GF1	11.059MHz	KRYSTALV
1	GF2	4.9152MHz	KRYSTALV
1	IC1	ADM3232	SO16
1	IC2	C8051F130	QUAD.50M
2	IC3, IC10	74HCT245	SOL20
1	IC4	74LVX244	SOL20
1	IC5	74LVX138	SO16
1	IC6	24C04	SO8
1	IC7	ADM803	SOT23
1	IC8	74LVX245	SOL20
1	IC9	AD7731	SOL24
1	IC11	LT3473	DFN8_3X3
1	IC12	7805	TO220
1	IC13	LF33CV	3DD_PACK
1	IC14	ADR441ARMZ	MSOP8
1	IC15	ICL7660/SO	SO8
1	L1	100u	1812
1	L2	220u	1812
1	L3	6u8	1210
1	L4	100u	TLUMIVKALD1
2	Q1, Q2	ANALOG_MODUL	AMODUL
3	R1, R17, R49	1k	0805
1	R2	100R	0805
6	R3, R13, R14, R15, R16, R50	10k	0805
24	R4, R5, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R21, R22, R25, R28, R29, R30, R34, R35, R37, R38, R39, R40, R41, R42, R43, R44	470	0805
1	R6	1k5	0805
11	R18, R19, R20, R23, R24, R26, R27, R31, R32, R33, R36	R	0805
1	R45	3R	0805
1	R46	180	0805

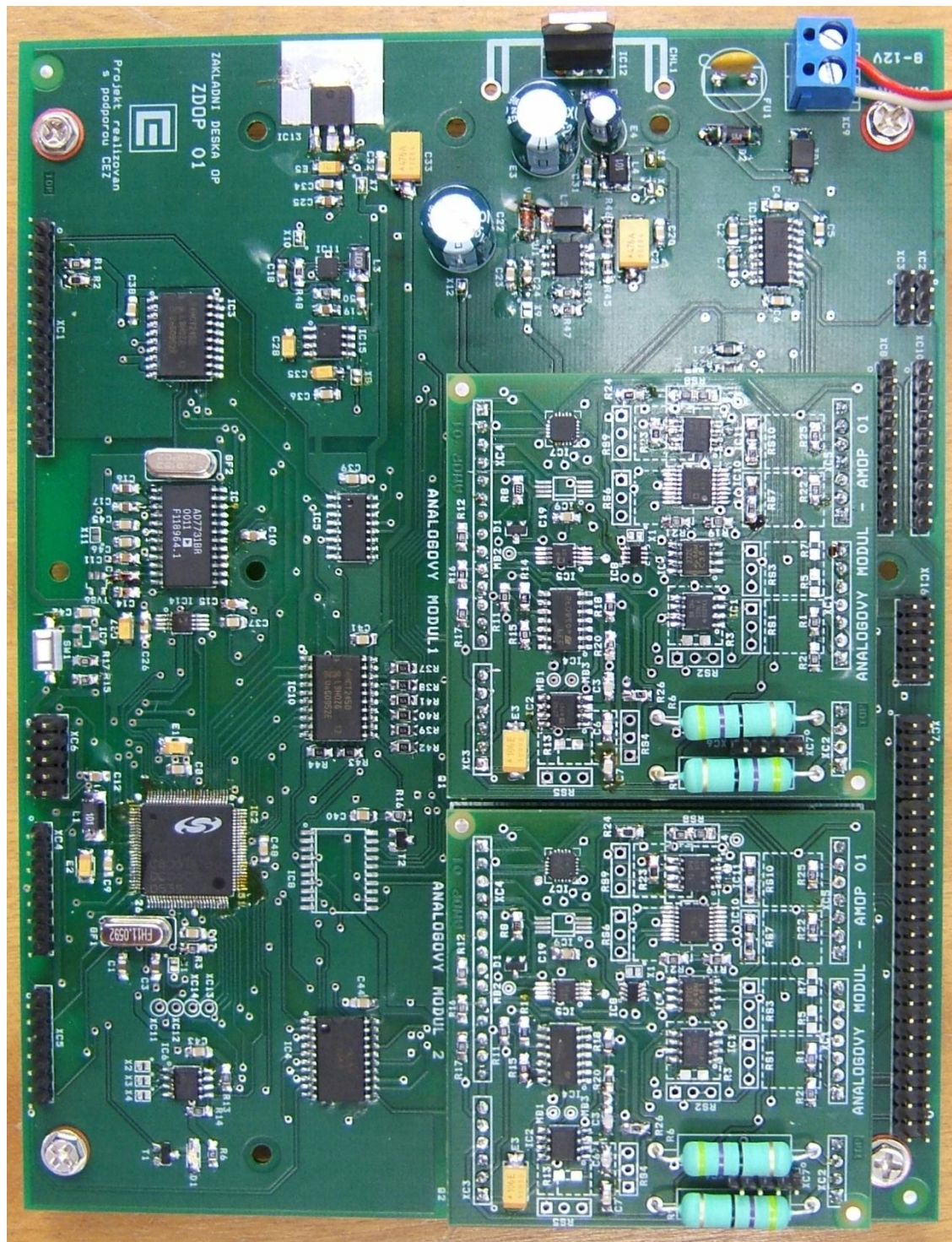
1	R47	15k	0805
1	R48	150k	0805
1	SW1	TLACITKO_SMD	TL_SMD
6	TVS1,TVS2,TVS3,TVS4,TVS5, TVS6	SP0504BA	SOT23_5
2	T1,T2	BSS138	SOT23
1	U1	MC34063A	SO8
1	VD1	BAS85	MINIMELF
1	XC1	CON14	J14-1
2	XC2,XC3	CON3	J3-1
1	XC4	CON8	J8-1
1	XC5	CON7	J7-1
1	XC6	S2G_5	J5_2
1	XC7	CON50-2	J50_2
2	XC8,XC10	CON10	J10-1
1	XC9	CON2	SV2
4	XC11,XC12,XC13,XC14	MB	MB
1	XC16	CON5-2	J5-2
12	X1,X2,X3,X4,X5,X6,X7,X8, SPOJKA2_MALA	SPOJKA2	
	X9,X10,X11,X12		
1	ZD1	15V	MELF

## Příloha D – Seznam součástek – analogový modul

Množství	Označení	Typ	Pouzdro
20	C1, C2, C4, C5, C8, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C17, C18, C19, C21, C24, C25, C26, C27, C28	M1	0805
3	C3, C6, C7	1n	0805
4	C16, C20, C22, C23	10u	1206
1	D1	BAS40	SOT23
3	E1, E2, E4	68u	TANTAL_B
1	E3	10u/25V	TANTAL_C
4	H1, H2, H3, H4	ZAM_BOD	ZAM_BOD
2	IC1, IC2	AD620AR	SO8
1	IC3	TLC272	SO8
1	IC4	LM339	SO14
1	IC5	ADR444ARMZ	MSOP8
1	IC7	AD7682BCPZ	LFCSP20_4
1	IC8	AD5060	SOT23_8
1	IC9	AD7683BRMZ	MSOP8
1	IC10	ADG659YRU	SO16W
1	IC11	OPA376	SO8
4	MB1, MB2, MB3, MB4	CON1	MB
2	RS1, RS2	x/1%	DELIC3
1	RS3	y/1%	DELIC3
2	RS4, RS5	3R3/1%	DELIC3
2	RS6, RS9	297K/1%	DELIC3
2	RS7, RS10	33K_3R3	DELIC3
1	RS8	10K_10K	DELIC3
6	R1, R2, R3, R5, R7, R13	R	0805
2	R4, R10	220k	0805
2	R6, R9	47R/2W	R2W
1	R8	2k2	0805
2	R11, R15	1k	0805
6	R12, R16, R17, R18, R19, R21	10k	0805
1	R14	3k	0805
1	R20	30k	0805
2	R22, R25	100K	0805
2	R23, R24	100R	0805
1	R26	3R3	0805
2	XC1, XC5	CON7	J7-1
1	XC2	CON4	J4-1
1	XC3	CON6	J6-1
1	XC4	CON14	J14-1
2	XC6, XC7	JUMPER	J2-1
1	X1	SPOJKA2	SPOJKA2MALA
2	ZD1, ZD2	15V	SM/DO214AA

## Příloha E – Fotografie

### Základní deska s moduly





## Analogový modul

